



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

TUGAS AKHIR - TL 141584

ANALISIS PENGARUH VARIASI WAKTU TAHAN DAN MEDIA PENDINGIN PROSES *HARDENING* PADA SIFAT KEKERASAN BAJA AISI 8655 SEBAGAI SOLUSI KEGAGALAN PADA *HAMMER CRUSHER*

YUDHA PRAKASA PUTRA RAMADHAN
NRP. 2713 100 064

Dosen Pembimbing
Ir. Rochman Rochiem, M.Sc.
Alvian Toto Wibisono, ST., MT.

JURUSAN TEKNIK MATERIAL DAN METALURGI
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2017



TUGAS AKHIR - TL141584

ANALISIS PENGARUH VARIASI WAKTU TAHAN DAN MEDIA PENDINGIN PROSES *HARDENING* PADA SIFAT KEKERASAN BAJA AISI 8655 SEBAGAI SOLUSI KEGAGALAN PADA *HAMMER CRUSHER*

YUDHA PRAKASA PUTRA RAMADHAN
NRP. 2713 100 064

Dosen Pembimbing :

Ir. Rochman Rochiem, M.Sc

Alvian Toto Wibisono, ST., MT

JURUSAN TEKNIK MATERIAL DAN METALURGI
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2017

(Halaman ini sengaja dikosongkan)



FINAL PROJECT - TL141584

ANALYSIS OF THE EFFECT VARIATIONS IN THE HOLDING TIME AND COOLING MEDIUM IN HARDENING PROCESS ON HARDNESS PROPERTIES OF AISI 8655 AS THE SOLUTION OF FAILURE HAMMER CRUSHER

YUDHA PRAKASA PUTRA RAMADHAN
NRP. 2713 100 064

Advisor:

Ir. Rochman Rochiem, M.Sc

Alvian Toto Wibisono, ST., MT

MATERIALS AND METALLURGICAL ENGINEERING DEPARTMENT
Faculty of Industrial Technology
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya
2017

(This Page is Left Intentionally Blank)

**ANALISIS PENGARUH VARIASI WAKTU TAHAN DAN
MEDIA PENDINGIN PROSES *HARDENING* PADA SIFAT
KEKERASAN BAJA AISI 8655 SEBAGAI SOLUSI
KEGAGALAN PADA *HAMMER CRUSHER***

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada

Bidang Studi Teknik Korosi dan Analisa Kegagalan
Program Studi S-1 Jurusan Teknik Material dan Metalurgi
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

Yudha Prakasa Putra Ramadhan
NRP. 2713 100 064

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir:

1. Ir. Rochman Rochiem, M.Sc
2. Alvian Toto Wibisono, ST., MT

[Signature] (Pembimbing I)
[Signature] (Pembimbing II)



(Halaman ini sengaja dikosongkan)

Analisis Pengaruh Variasi Waktu Tahan dan Media Pendingin Proses *Hardening* pada Sifat Kekerasan Baja AISI 8655 Sebagai Solusi Kegagalan pada *Hammer Crusher*

Nama Mahasiswa : Yudha Prakasa Putra Ramadhan
NRP : 2713 100 064
Jurusan : Teknik Material dan Metalurgi
Dosen Pembimbing : Ir. Rochman Rochiem., M.Sc.
Co-Pembimbing : Alvian Toto W., ST., MT.

Abstrak

Hammer crusher merupakan alat untuk menghancurkan terak (*clinker*) yang telah di proses dalam *kiln* dan telah didinginkan pada *clinker cooler*. *Hammer crusher* sering terjadi keausan yang sangat cepat dan tidak sesuai dengan umur pakainya. Dalam penelitian ini dilakukan analisa kegagalan penyebab terjadinya kegagalan pada *hammer crusher* dan solusi agar komponen tidak mudah aus. Pengujian yang dilakukan untuk menganalisis material ini adalah uji komposisi, metalografi, dan *hardness*. Dari uji komposisi didapatkan material *hammer crusher* berkesesuaian komposisinya dengan AISI 8655. Kemudian pada material ini dilakukan proses *hardening* pada temperatur 850°C dengan waktu tahan 30 menit dan 60 menit, yang kemudian di *quench* dengan media pendingin udara, oli, dan air untuk meningkatkan kekerasannya dan meningkatkan ketahanan aus nya. Setelah di *hardening*, komponen di uji impak, *hardness*, dan metalografi untuk dibandingkan pada kondisi awalnya. Hasil percobaan ini diperoleh bahwa kekerasan komponen meningkat dari yang semula 243 BHN menjadi 400-550 BHN. Diperoleh kekerasan yang paling besar pada proses *hardening* dengan waktu tahan 30 menit dengan menggunakan media pendingin air yaitu sebesar 552 BHN.

Kata Kunci : *Hammer Crusher, AISI 8655, Hardening, Hardness*

(Halaman Ini Sengaja Dikosongkan)

**Analysis of the Effect Variations in the Holding Time and
Cooling Medium in Hardening Process on Hardness
Properties of AISI 8655 as the Solution of Failure Hammer
Crusher**

Name : Yudha Prakasa Putra Ramadhan
SRN : 2713 100 064
Major : Materials and Metallurgical Engineering
Advisor : Ir. Rochman Rochiem., M.Sc.
Co-Advisor : Alvian Toto W., ST., MT.

Abstract

Hammer crusher is a tool to destroy the slag (clinker) which has been process in the kiln and cooled at the clinker cooler. The hammer crusher often wear very quickly and not in accordance with that lifetime. In this research, failure analysis of Hammer Crusher and modification was performance so that components are not easy to wear. Test that used for this material composition test (OES), metallography and hardness. The result from the composition test shown the composition hammer crusher is similar with AISI 8655. Then the hardening process is carried out at a temperature of 850°C with a holding time of 30 minutes and 60 minutes, which next quenched with air, oil, and water to increase its hardness and wear resistance. After the hardening, the components are tested with impact test, hardness and metallography to compare it's with the prior condition before hardening. The results of this experiment showed that the hardness value of the component increased from 243 BHN into 400-550 BHN. The maximum hardness value there on hardening with holding time of 30 minutes and the cooling water is equal to 552 BHN.

Keywords : Hammer Crusher, AISI 8655, Hardening, Hardness

(This Page is Left Intentionally Blank)

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadirat Allah SWT, karena berkat rahmat dan hidayah-Nya, tidak lupa shalawat serta salam penulis panjatkan kepada Nabi Muhammad SAW sehingga penulis diberi kesempatan untuk menyelesaikan Tugas Akhir. Tugas Akhir ditujukan untuk memenuhi mata kuliah wajib yang harus diambil oleh mahasiswa Jurusan Teknik Material dan Metalurgi Fakultas Teknologi Industri Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS), penulis telah menyelesaikan Laporan Tugas Akhir yang berjudul **“Analisis Pengaruh Variasi Waktu Tahan dan Media Pendingin Proses *Hardening* Pada Sifat Kekerasan Baja AISI 8655 Sebagai Solusi Kegagalan Pada *Hammer Crusher*”**.

Penulis menyadari bahwa tanpa bantuan dan dukungan dari berbagai pihak, laporan tugas akhir ini tidak dapat terselesaikan dengan baik. Oleh karena itu, penulis ingin mengucapkan terimakasih kepada pihak yang telah memberikan dukungan, bimbingan, dan kesempatan kepada penulis hingga laporan tugas akhir ini dapat diselesaikan, diantaranya:

1. Kedua Orang Tua, dan keluarga yang telah mendukung secara moril maupun materiil serta doa yang selalu dipanjatkan demi kesehatan dan keselamatan anaknya.
2. Dr. Agung Purniawan, S.T, M.Eng., selaku Ketua Jurusan Teknik Material dan Metalurgi FTI-ITS.
3. Ir. Rochman Rochiem M.Sc selaku dosen pembimbing tugas akhir yang telah memberikan bekal yang sangat bermanfaat.
4. Alvian Toto Wibisono, S.T., M.T selaku co dosen Pembimbing yang telah banyak membanyak memberikan ilmu.
5. Dr. Eng. Hosta Ardhyanta ST., M.Sc. selaku Koordinator Tugas Akhir Jurusan Teknik Material dan Metalurgi FTI-ITS.
6. Amaliya Rasyida S.T., M.Sc Selaku dosen wali yang sangat mengayomi selama penulis menjalani pendidikan di Jurusan Teknik Material dan Metalurgi.
7. Seluruh dosen dan karyawan Jurusan Teknik Material dan Metalurgi FTI-ITS.

8. Bapak Didiet dan Bapak Ginanjar, selaku pembimbing di PT. Semen Indonesia (Persero) Tbk yang telah membimbing dan memberikan banyak ilmu selama pengerjaan tugas akhir ini.
9. Keluarga MT 15 yang banyak memberikan saya pengalaman berharga selama di Jurusan Teknik Material dan Metalurgi.
10. Dan seluruh pihak yang telah memberikan partisipasi dalam Tugas Akhir ini.

Penulis menyadari bahwa dalam pembuatan laporan ini masih terdapat kekurangan. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik yang membangun dari pembaca demi perbaikan dan kemajuan bersama. Penulis berharap laporan tugas akhir ini dapat bermanfaat dan dimanfaatkan dengan sebaik-baiknya

Surabaya, 9 Januari 2017

Penulis,
Yudha Prakasa Putra Ramadhan

DAFTAR ISI

| | |
|---|-------------|
| HALAMAN JUDUL..... | i |
| LEMBAR PENGESAHAN..... | v |
| ABSTRAK..... | vii |
| ABSTRACT..... | ix |
| KATA PENGANTAR..... | xi |
| DAFTAR ISI..... | xiii |
| DAFTAR GAMBAR..... | xvii |
| DAFTAR TABEL..... | xxi |
| BAB I PENDAHULUAN | 1 |
| 1.1 Latar Belakang | 1 |
| 1.2 Rumusan Masalah | 3 |
| 1.3 Batasan Masalah..... | 3 |
| 1.4 Tujuan Penelitian..... | 3 |
| 1.5 Manfaat Penelitian..... | 4 |
| BAB II TINJAUAN PUSTAKA | 5 |
| 2.1 Pengertian <i>Clinker Cooler</i> | 5 |
| 2.2 Pengertian <i>Hammer Crusher</i> | 7 |
| 2.3 Material <i>Hammer Crusher</i> (ASTM A532)..... | 8 |
| 2.4 Material <i>Hammer Crusher</i> yang mengalami kegagalan (AISI 8655) | 9 |
| 2.5 Diagram Fase Fe-Fe ₃ C | 11 |
| 2.6 Diagram Fase Fe – 12 % wt Cr – C..... | 13 |
| 2.7 Baja Paduan | 15 |
| 2.7.1 Baja Karbon Menengah..... | 15 |
| 2.8 Analisa Kegagalan..... | 16 |

| | |
|--|-----------|
| 2.8.1 Prosedur dalam Analisa Kegagalan | 19 |
| 2.9 <i>Heat Treatment</i> | 20 |
| 2.9.1 <i>Hardening</i> | 20 |
| 2.9.2 <i>Normalizing</i> | 24 |
| 2.10 Pengujian Kekerasan..... | 25 |
| 2.10.1 Uji Kekerasan <i>Brinnel</i> | 26 |
| 2.11 Pengujian <i>Impact</i> | 26 |
| 2.12 Penelitian Sebelumnya | 28 |
| 2.12.1 Perubahan Struktur Mikro dan Sifat Mekanik Pada Pengelasan Drum Baja Karbon Wadah Limbah Radioaktif..... | 28 |
| 2.12.2 Pengaruh Viskositas Media Celup Terhadap Kekerasan dan Struktur Mikro <i>Martensitic White Cast Iron</i> ASTM A532..... | 29 |
| 2.12.3 Pengaruh Perbedaan Kodisi <i>Tempering</i> Terhadap Struktur Mikro dan Kekerasan Dari Baja AISI 4140 . | 31 |
| 2.12.4 Penelitian Pengaruh Variasi Temperatur Pemanasan <i>Low Tempering, Medium Tempering dan High Tempering</i> pada <i>Medium Carbon Steel</i> Produksi Pengecoran Batur-Klaten Terhadap Struktur Mikro, Kekerasan dan Ketangguhan (<i>Toughness</i>)..... | 33 |
| 2.12.5 Pengaruh Media Pendingin pada <i>Heat Treatment</i> Terhadap Struktur Mikro dan Sifat Mekanik <i>Friction Wedge</i> AISI 1340..... | 35 |
| 2.12.6 Analisis Simulasi Uji Impak Baja Karbon Sedang (AISI 1045) dan Baja Karbon Tinggi (AISI 1045) dan baja Karbon Tinggi (AISI D2) Hasil Perlakuan Panas | 39 |
| BAB III METODOLOGI PENELITIAN..... | 41 |

| | |
|--|--------------|
| 4.2.2 Hasil Pengujian Kekerasan <i>Hammer Crusher</i> Setelah di <i>Hardening</i> | 65 |
| 4.2.3 Hasil Pengujian Impak <i>Hammer Crusher</i> Setelah di <i>Hardening</i> | 68 |
| 4.3 Pembahasan | 70 |
| BAB V KESIMPULAN DAN SARAN..... | 75 |
| 5.1 Kesimpulan..... | 75 |
| 5.2 Saran | 75 |
| DAFTAR PUSTAKA..... | xxiii |
| LAMPIRAN..... | xxvii |
| BIODATA PENULIS..... | xxxix |

DAFTAR GAMBAR

| | | |
|---------------------|--|----|
| Gambar 2. 1 | Komponen utama <i>clinker cooler</i> | 6 |
| Gambar 2. 2 | <i>Hammer Crusher</i> | 7 |
| Gambar 2. 3 | Diagram fase Fe - Fe ₃ C | 12 |
| Gambar 2. 4 | Plot struktur mikro pada baja <i>hypoeutectoid</i> yang didinginkan secara lambat | 13 |
| Gambar 2. 5 | Diagram fase Baja Krom pada 12% Cr | 14 |
| Gambar 2. 6 | Diagram TTT untuk baja <i>Hypoeutectoid</i> | 21 |
| Gambar 2. 7 | Rentang temperatur austenitisasi pada perlakuan panas | 22 |
| Gambar 2. 8 | Tiga Tahapan pada <i>quenching</i> | 24 |
| Gambar 2. 9 | Pembebanan Metode <i>Charpy</i> dan Metode <i>Izod</i> .. | 27 |
| Gambar 2. 10 | Struktur Mikro yang Menunjukkan fasa <i>Pearlite</i> dan <i>Ferrite</i> | 28 |
| Gambar 2. 11 | Struktur mikro spesimen <i>martensitic white cast iron</i> tanpa proses <i>heat treatment</i> : (A). ASTM A532 Cr 12 (B) ASTM A532 Cr 17 (C) ASTM A532 Cr 21 . | 30 |
| Gambar 2. 12 | Struktur mikro spesimen <i>martensitic white cast iron</i> ASTM A532 Cr 12: (A) <i>Quenching</i> Oli SAE 10; (B) <i>Quenching</i> Oli SAE 30 | 30 |
| Gambar 2. 13 | Histogram distribusi kekerasan rata-rata (Kg/mm ²) hasil uji kekerasan <i>Vickers</i> pada besi tuang putih martensitik ASTM A532(CR 12, CR 17, CR 21) | 31 |
| Gambar 2. 14 | Struktur mikro AISI 4140 setelah Proses Temper (600°C/2 jam) | 32 |
| Gambar 2. 15 | Grafik Pengaruh proses temper dan perbedaan waktu tahan (<i>hold time</i>) pada kondisi <i>tempering</i> terhadap kekerasan | 33 |
| Gambar 2. 16 | Foto Struktur Mikro <i>Medium Carbon Steel</i> perbesaran 200x: (A) <i>Raw Material</i> ; (B) <i>Tempering</i> 200°C; (C) <i>Tempering</i> 400°C; (D) <i>Tempering</i> 600°C | 34 |

| | | |
|---------------------|--|----|
| Gambar 2. 17 | Histogram perbandingan harga kekerasan rata-rata spesimen <i>medium carbon steel</i> | 35 |
| Gambar 2. 18 | Histogram perbandingan harga dampak rata-rata | 35 |
| Gambar 2. 19 | Hasil struktur mikro pada permukaan dengan perbesaran 1000x : (A) <i>As cast</i> (B) <i>As quench</i> (C) <i>Water quench</i> (D) <i>Oil quench</i> (E) <i>Polymer aqueous quench</i> (F) <i>Normalizing</i> ; dengan etsa 2-4% nital. | 37 |
| Gambar 2. 20 | Hasil struktur mikro pada <i>cross section</i> dengan perbesaran 1000x (A) <i>As cast</i> (B) <i>As quench</i> (C) <i>Water quench</i> (D) <i>Oil quench</i> (E) <i>Polymer aqueous quench</i> (F) <i>Normalizing</i> ; dengan etsa 2-4% nital. | 38 |
| Gambar 3. 1 | Diagram Alir Penelitian..... | 42 |
| Gambar 3. 2 | a.) Komponen <i>Hammer Crusher</i> yang aus. b.) Bagian <i>Hammer Crusher</i> yang masih utuh. | 44 |
| Gambar 3. 3 | Mesin <i>Wire Cut</i> | 45 |
| Gambar 3. 4 | Mesin <i>OES</i> | 45 |
| Gambar 3. 5 | <i>Universal Hardness Tester</i> | 46 |
| Gambar 3. 6 | <i>Impact Machine</i> | 46 |
| Gambar 3. 7 | <i>Olympus Optical Microscope</i> | 47 |
| Gambar 3. 8 | Proses <i>hardening</i> dengan variasi waktu tahan dan media pendingin..... | 49 |
| Gambar 3. 9 | (a) Kamera merk Nikon tipe SLR. (b) <i>Olympus Optical Microscope</i> | 50 |
| Gambar 3. 10 | <i>Universal Hardness Tester HBRV 187.5A</i> | 51 |
| Gambar 3. 11 | <i>Impact Testing</i> | 51 |
| Gambar 4. 1 | Desain <i>hammer crusher</i> di PT. Semen Indonesia...53 | |
| Gambar 4. 2 | Komponen <i>Hammer Crusher</i> : (A) Sebelum mengalami keausan; (B) Setelah mengalami keausan..... | 54 |
| Gambar 4. 3 | Pembagian daerah indentasi uji kekerasan <i>brinell</i> | 56 |

| | | |
|---------------------|---|----|
| Gambar 4. 4 | Struktur Mikro Baja AISI 8655 yang mengalami keausan..... | 58 |
| Gambar 4. 5 | Struktur Mikro <i>Martensitic White Cast Iron</i> ASTM A532 | 58 |
| Gambar 4. 6 | Foto mikrograf baja AISI 8655 : (A) AISI 8655 HT30-AQ, (B) AISI 8655 HT30-OQ, (C) AISI 8655 HT30-WQ | 62 |
| Gambar 4. 7 | Foto mikrograf baja AISI 8655 : (A) AISI 8655 HT60-AQ, (B) AISI 8655 HT60-OQ, (C) AISI 8655 HT60-WQ | 64 |
| Gambar 4. 8 | Titik Indentasi Uji <i>Hardness</i> | 65 |
| Gambar 4. 9 | Grafik nilai kekerasan hasil proses pengerasa baja AISI 8655..... | 66 |
| Gambar 4. 10 | Grafik Pengaruh Kondisi <i>Hardening</i> dan Variasi Media Pendingin terhadap Energi Impak..... | 69 |
| Gambar 4. 11 | Pola Patahan Getas hasil Uji <i>impact</i> : (A) waktu tahan 30 menit, (B) waktu tahan 60 menit | 69 |

(Halaman Ini Sengaja Dikosongkan)

DAFTAR TABEL

| | |
|---|----|
| Tabel 2. 1 Komposisi Kimia pada ASTM A532..... | 8 |
| Tabel 2. 2 Kekerasan pada ASTM A532 | 9 |
| Tabel 2. 3 Komposisi Kimia Baja AISI 8655 | 9 |
| Tabel 2. 4 Karakteristik mekanik dan fisik pada Baja AISI 8655 | 10 |
| Tabel 2. 5 Komposisi karbon pada berbagai material baja karbon menengah | 16 |
| Tabel 2. 6 Permasalahan dalam kegagalan komponen mesin ... | 17 |
| Tabel 2. 7 Kasus kegagalan material akibat perawatan komponen mesin | 18 |
| Tabel 2. 8 Penyebab kegagalan dalam komponen mesin | 19 |
| Tabel 2. 9 Hasil Uji Impak AISI 1045 | 40 |
| Tabel 2. 10 Hasil Uji Impak AISI D2 | 40 |
| Tabel 3. 1 Komposisi Kimia <i>Hammer Crusher</i> | 44 |
| Tabel 3. 2 Rancangan penelitian..... | 52 |
| Tabel 4. 1 Spesifikasi Komponen <i>hammer crusher</i> | 54 |
| Tabel 4. 2 Hasil Komparasi Uji Komposisi..... | 55 |
| Tabel 4. 3 Data Hasil Pengujian Kekerasan..... | 57 |
| Tabel 4. 4 Nilai Kekerasan <i>Hammer Crusher</i> sesuai ASTM A532 | 57 |
| Tabel 4. 5 Kode Spesimen dan Jenis <i>Hardening</i> pada AISI 8655 | 60 |
| Tabel 4. 6 Hasil Pengujian Kekerasan pada AISI 8655 yang telah di <i>hardening</i> | 66 |
| Tabel 4. 7 Nilai Energi impak pada spesimen uji setelah di <i>hardening</i> | 68 |

(Halaman Ini Sengaja Dikosongkan)



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

PT. Semen Indonesia merupakan produsen semen terbesar di Indonesia. Keberhasilan pembangunan pabrik Tuban IV dan Tonasa V, serta akuisisi perusahaan semen Vietnam Thang Long Cement Company pada akhir tahun 2013, maka pada awal tahun 2013 perseroan memiliki kapasitas terpasang sebesar 30 ton/tahun dan telah menjadi perusahaan semen terbesar di Asia Tenggara berdasarkan kapasitas terpasang. Saat 2014 kapasitas terpasang Semen Indonesia meningkat menjadi 31,8 juta ton semen per tahun, dan menguasai sekitar 42% pangsa pasar semen domestik. PT. Semen Indonesia memiliki 4 anak perusahaan yaitu PT. Semen Gresik, PT. Semen Padang, PT. Semen Tonasa dan Thang Long Cement. Untuk PT. Semen Indonesia sendiri memiliki 4 pabrik dengan kapasitas terpasang 8,5 juta ton semen per tahun yang berlokasi di Desa Sumberarum, Kec. Kerek, Tuban, Jawa Timur

Proses pembuatan semen PT. Semen Indonesia unit Tuban III secara garis besar melalui proses dengan dimulai dari pengambilan bahan baku, proses pembuatan terak (*clinker*), proses penggilingan semen (*milling*), penyimpanan dalam *silo*, dan pengemasan semen (*packing*). Proses pembuatan terak (*clinker*) meliputi pemanasan awal, pengeringan dalam *rotary kiln*, dan pendinginan (*Cooling*). Proses penggilingan meliputi pencampuran dengan aditif, penggerusan dan pembentukan *powder*. Proses *packing* yaitu memasukan semen kedalam kemasan dan menyimpan kedalam gudang. (Ibrahim, 2004)

Clinker Cooler adalah salah satu peralatan yang memiliki fungsi sangat penting dalam industri semen. *Clinker cooler* berfungsi sebagai pendingin material yang keluar dari *kiln* (*clinker*) sehingga fungsinya sangat penting untuk kelangsungan produksi terak (*clinker*) di Pabrik Tuban Semen Indonesia. *Clinker cooler* akan mendinginkan terak (*clinker*) yang diproduksi oleh *kiln* sebelum terak diproses lagi sebagai bahan baku pembuat semen.



Terak yang dihasilkan oleh *kiln* akan didinginkan di dalam *clinker cooler*, kemudian ukuran terak tersebut akan diperkecil dengan *hammer crusher* yang ada di dalam *clinker cooler*. Setelah itu terak yang masih bertemperatur kurang lebih 100-250°C akan dibawa menggunakan *pan conveyor* menuju *silo*.

Kinerja optimal dari *clinker cooler* sangat diperlukan karena apabila dalam operasinya *clinker cooler* ini mengalami gangguan sedikit saja, maka *kiln* harus *stop* atau dapat mengganggu operasi lainnya seperti mengganggu operasi pada daerah *finish mill*. *Clinker cooler* membawa *clinker* dari *kiln* menuju *silo* secara kontinyu, proses ini sejalan dengan produksi terak pada *kiln*, bila *clinker cooler* mati, produksi terak pada *kiln* memiliki kemungkinan untuk dihentikan karena temperatur dari terak yang dihasilkan sangat tinggi, hal ini berpotensi untuk merusak peralatan yang ada pada proses selanjutnya. *Clinker cooler* ini baru beroperasi selama kurang lebih setahun dan merupakan hasil modifikasi dari *cooler* generasi sebelumnya. Pada tanggal 21 Juli 2016 *hammer crusher* pada *clinker cooler* mengalami keausan (*wear*) yang tidak wajar. Kerusakan *hammer crusher* mengakibatkan *clinker cooler* mengalami penurunan distribusi terak dan proses produksi semen mengalami penurunan hingga *hammer crusher* tersebut diganti dengan *part* yang baru. *Hammer crusher* pada PT. Semen Indonesia (Persero) Tbk mengalami keausan yang seharusnya umur pakainya selama 2 tahun hanya bertahan selama 8 bulan. Dari kasus tersebut dilakukan analisis kegagalan dengan menguji komposisi dan kekerasan material *hammer crusher* yang ada di PT. Semen Indonesia (Persero) Tbk. Diperoleh komposisi yang tidak sesuai dengan material *hammer crusher* yang standar dan kekerasan yang rendah serta jauh dari standar. Disamping itu, *hammer crusher* baru harus diganti secara keseluruhan. Sehingga membutuhkan biaya yang tidak sedikit sekaligus sangat menghambat proses produksi PT. Semen Indonesia. Oleh karena itu perlunya melakukan penelitian ini untuk menganalisis kegagalan yang terjadi dan meminimalisir terjadinya keausan pada material *hammer crusher* yang ada di PT. Semen

BAB I PENDAHULUAN



Indonesia (Persero) Tbk dengan melakukan proses pengerasan (*hardening*) dan *quenching* dengan media pendingin yang berbeda – beda antara lain udara, air dan oli.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dalam penelitian ini adalah :

1. Apa faktor penyebab terjadinya kegagalan pada komponen *hammer crusher* di *clinker cooler* ?
2. Bagaimana mekanisme kegagalan pada komponen *hammer crusher* di *clinker cooler* ?
3. Bagaimana pengaruh proses *hardening* dengan variasi waktu tahan dan media pendingin sebagai solusi kegagalan yang terjadi pada komponen *hammer crusher* pada *clinker cooler* ?

1.3 Batasan Masalah

Agar penelitian ini menjadi terarah dan memberikan kejelasan analisis permasalahan, maka dilakukan pembatasan permasalahan sebagai berikut :

1. Data operasi seperti temperatur, kecepatan rotasi (rpm) pada *hammer crusher* sudah memenuhi standar operasional.
2. Desain *hammer crusher* memenuhi standar operasional.
3. Pengaruh lingkungan diabaikan.
4. Material dianggap homogen di semua sisi
5. Diasumsikan tidak ada penurunan temperatur saat material uji keluar dari dapur pemanas.
6. Lama waktu pemindahan spesimen uji dari dapur ke media pendingin diasumsikan konstan pada semua spesimen uji.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah :

1. Menganalisis faktor penyebab terjadinya kegagalan pada komponen *hammer crusher* pada *clinker cooler*.



2. Menganalisis mekanisme kegagalan komponen *hammer crusher* pada *clinker cooler*.
3. Menganalisis pengaruh proses *hardening* dengan variasi waktu tahan dan media pendingin sebagai solusi kegagalan yang terjadi pada komponen *hammer crusher* pada *clinker cooler*.

1.5 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat menjadi referensi penanganan bila terjadi kegagalan pada *hammer crusher* dikemudian hari dan dasar pengembangan pada penelitian-penelitian berikutnya.



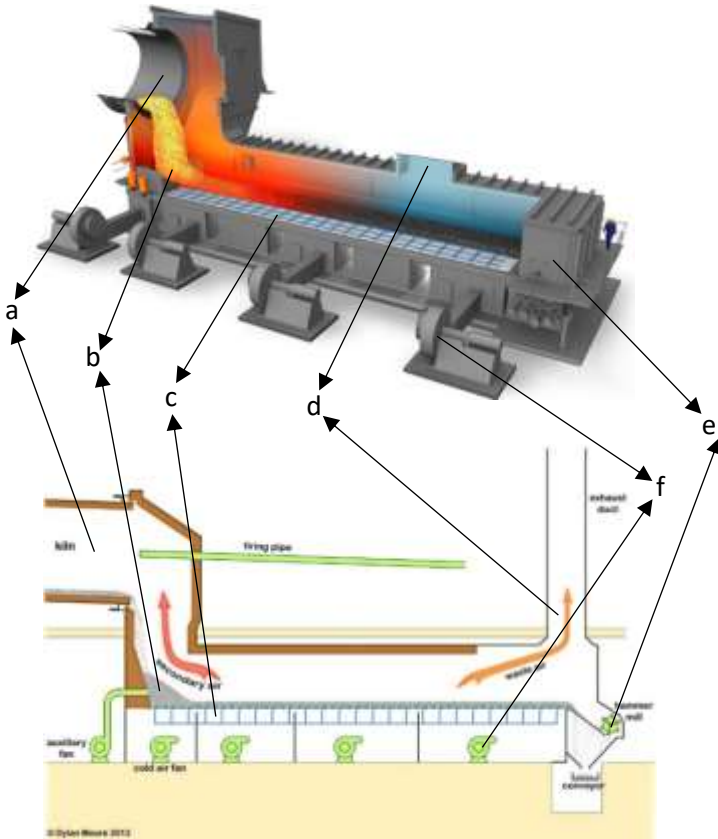
BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pengertian *Clinker Cooler*

Pada industri semen, *clinker* yang sudah diproses dari awal sampai dipanaskan pada *rotary kiln* dengan temperatur $\pm 1800^{\circ}\text{C}$ selanjutnya akan diturunkan dari temperatur $\pm 1450^{\circ}\text{C}$ sampai *clinker* dengan temperatur $\pm 100 \div 250^{\circ}\text{C}$ untuk selanjutnya akan dihancurkan oleh *hammer crusher*. Untuk keperluan pendinginan tersebut digunakan alat yang disebut *crossbar*.

Gambar 2.1 menunjukkan komponen utama *clinker cooler*. Proses pendinginan dimulai ketika (b) terak (*clinker*) keluar dari (a) *rotary kiln* dan diteruskan oleh (c) *crossbar* menuju (e) *hammer crusher* dikecilkan ukuran awal dari terak (*clinker*). Selama perjalanan menuju *hammer crusher*, terak (*clinker*) didinginkan oleh (f) *fan* yang berada di bawah *crossbar* dan udara panas di dalam *clinker cooler* keluar melalui (d) *exhaust duct*, kemudian terak (*clinker*) di hancurkan oleh *hammer crusher* menjadi ukuran yang lebih kecil.

Pada *clinker cooler* proses pendinginan *clinker* dilakukan dengan mengalirkan udara dari sejumlah fan, yang selanjutnya dihembuskan melalui celah – celah landasan (*crossbar*) yang bergerak mengantarkan *clinker* menuju ke *hammer*. Untuk keperluan pendinginan tersebut digunakan alat yang disebut *grate cooler*. Pada *grate cooler* proses pendinginan terak (*clinker*) dilakukan dengan mengalirkan udara dari sejumlah fan, yang selanjutnya dihembuskan melalui celah – celah landasan (*grate*) yang bergerak mengantarkan terak (*clinker*) menuju ke *crusher* untuk proses selanjutnya. (Anwar, 2011)



Gambar 2. 1 Komponen utama *clinker cooler* (FLSmidth, 2016)

Kapasitas desain *clinker cooler* adalah 7800 ton / hari sedangkan luas permukaan efektifnya adalah 160.6 m², terdapat 3 *section* pada *clinker cooler* antara lain *inlet*, *existing*, dan *extended*. (Firdaus, 2007). Proses pendinginan terak (*clinker*) di dalam *clinker cooler* merupakan salah satu proses yang cukup penting mendapat perhatian dalam produksi semen. Hal ini disebabkan karena proses pendinginan terak (*clinker*) setelah

BAB II TINJAUAN PUSTAKA



melewati pemanasan di dalam *rotary kiln*, merupakan salah satu faktor dalam upaya menghasilkan *clinker* dengan kualitas yang diharapkan (*Silika ratio:2.44, Alumina ratio:1.54, Lime saturation: 96.2*). (Anwar, 2011)

2.2 Pengertian *Hammer Crusher*

Hammer crusher adalah sebuah alat penggiling yang mempunyai *rotor* yang dapat berputar dan mempunyai alat pemecah berbentuk palu dimana palu-palu tersebut digantung pada suatu rotor/piringan/silinder yang dapat berputar dengan cepat. Gambar 2.2 menunjukkan komponen *hammer crusher*, (a) *rotor* yang berfungsi menggerakkan (b) *hammer crusher* dan (c) *hammer diec* yang berfungsi sebagai pemisah antara *hammer* satu dengan yang lainnya. Alat ini juga dilengkapi dengan kisi-kisi/ayakan yang juga berfungsi sebagai penutup lubang tempat keluarnya produk. Mekanisme kerja dari *hammer crusher* yaitu, *hammer crusher* bergerak pada kecepatan tertentu kemudian menghancurkan *clinker* yang di transportasi oleh *crossbar* dari kiln menuju *hammer mill* kemudian *clinker* akan di hancurkan, disini akan terjadi kontak antara ujung dari *hammer crusher* dengan *clinker*. Oleh karena itu jika hal ini terus menerus terjadi maka akan terjadi keausan pada komponen *hammer crusher*. Pemeriksaan dan perawatan baling-baling *hammer*/palu sangat penting karena berhubungan dengan mengubah baling-baling yang mempercepat tingkat putaran dan bergantung pada keras lunaknya obyek yang akan di giling. (Edahwati, 2009)



Gambar 2. 2 *Hammer Crusher* (FLSmidth, 2016)



2.3 Material *Hammer Crusher* (ASTM A532)

Material *hammer crusher* yang seharusnya dan sesuai dengan standar yang ada yaitu besi tuang putih (*white cast iron*) yang sesuai dengan ASTM A532. Besi cor putih cocok sebagai aplikasi *grinding, milling, earth-handling, dan manufacturing industries*. Spesifikasi fasa yang terbentuk pada besi cor putih antara lain perlit, ledeburit dan sementit. Tabel 2.1 menunjukkan komposisi kimia besi cor putih pada ASTM A532 antara lain sebagai berikut :

Tabel 2. 1 Komposisi Kimia pada ASTM A532 (ASTM A532, 1999)

| Class | Type | Designation | Carbon | Manganese | Silicon | Nickel | Chromium | Molybdenum | Copper | Phosphorus | Sulfur |
|-------|------|-------------|---------|-----------|---------|---------|-----------|------------|---------|------------|----------|
| I | A | Ni-Cr-Hc | 2.0-3.6 | 2.0 max | 0.8 max | 3.3-5.0 | 1.4-4.0 | 1.0 max | --- | 0.1 max | 0.15 max |
| I | B | Ni-Cr-Lc | 2.4-3.0 | 2.0 max | 0.8 max | 3.3-5.0 | 1.4-4.0 | 1.0 max | --- | 0.1 max | 0.15 max |
| I | C | Ni-Cr-GB | 2.5-3.7 | 2.0 max | 0.8 max | 4.0 max | 1.0-2.5 | 1.0 max | --- | 0.1 max | 0.15 max |
| I | D | Ni-HCr | 2.5-3.6 | 2.0 max | 2.0 max | 4.5-7.0 | 7.0-11.0 | 1.5 max | --- | 0.10 max | 0.15 max |
| II | A | 12 % Cr | 2.0-3.3 | 2.0 max | 1.5 max | 2.5 max | 11.0-14.0 | 3.0 max | 1.2 max | 0.10 max | 0.06 max |
| II | B | 15 % Cr-Mo | 2.0-3.3 | 2.0 max | 1.5 max | 2.5 max | 14.0-18.0 | 3.0 max | 1.2 max | 0.10 max | 0.06 max |
| II | D | 20 % Cr-Mo | 2.0-3.3 | 2.0 max | 1.0-2.2 | 2.5 max | 18.0-25.0 | 3.0 max | 1.2 max | 0.10 max | 0.06 max |
| III | A | 25 % Cr | 2.0-3.3 | 2.0 max | 1.5 max | 2.5 max | 23.0-30.0 | 3.0 max | 1.2 max | 0.10 max | 0.06 max |

Sifat mekanik dari ASTM A532 juga bermacam-macam, salah satunya adalah kekerasan pada tiap kelas dan tipe dari material yang berbeda – beda. Tabel 2.2 menunjukkan macam-macam nilai kekerasan pada ASTM A532. (ASTM A532, 1999)

BAB II TINJAUAN PUSTAKA



Tabel 2. 2 Kekerasan pada ASTM A532 (ASTM A532, 1999)

| Class | Type | Designation | as cast or as Cast and Stress Relieved | | Hardened or Hardened and Stress Relieved | | | | | |
|-------|------|-------------|---|-----|---|-----|-----|---------|-----|-----|
| | | | HB | HRC | Level 1 | | | Level 2 | | |
| | | | | | HV | HB | HRC | HV | HB | HRC |
| I | A | Ni-Cr-HiC | 550 | 53 | 600 | 600 | 56 | 660 | 650 | 59 |
| I | B | Ni-Cr-LoC | 550 | 53 | 600 | 600 | 56 | 660 | 650 | 59 |
| I | C | Ni-Cr-GB | 550 | 53 | 600 | 600 | 56 | 660 | 650 | 59 |
| I | D | Ni-HiCr | 500 | 50 | 540 | 600 | 56 | 660 | 650 | 59 |
| II | A | 12 % Cr | 550 | 53 | 600 | 600 | 56 | 660 | 650 | 59 |
| II | B | 15 % Cr-Mo | 450 | 46 | 485 | 600 | 56 | 660 | 650 | 59 |
| II | D | 20 % Cr-Mo | 450 | 46 | 485 | 600 | 56 | 660 | 650 | 59 |
| III | A | 25 % Cr | 450 | 46 | 485 | 600 | 56 | 660 | 650 | 59 |

2.4 Material *Hammer Crusher* yang mengalami kegagalan (AISI 8655)

Material *hammer crusher* yang ada di PT. Semen Indonesia (Persero) Tbk tidak sesuai standar dengan ASTM A532. Material ini adalah baja AISI 8655 yang merupakan baja paduan dengan kandungan karbon menengah dan memiliki paduan *Chromium*, *Nickel*, dan *Molybdenum*. Tabel 2.3 menunjukkan komposisi kimia pada baja AISI 8655 antara lain sebagai berikut:

Tabel 2. 3 Komposisi Kimia Baja AISI 8655 (Chandler, 1995)

| CHEMICAL COMPOSITION (WEIGHT%) | |
|---------------------------------------|-----------|
| UNSUR | % |
| C | 0.51-0.59 |
| Si | 0.15-0.35 |
| Mn | 0.75-1.00 |
| P | 0.035max |
| S | 0.040max |
| Cr | 0.40-0.60 |
| Ni | 0.40-0.70 |
| Mo | 0.15-0.25 |



Baja AISI 8655 juga memiliki sifat mekanik dan sifat fisik seperti baja – baja yang lainnya, pada Tabel 2.4 menunjukkan data karakteristik mekanik dan fisik serta perlakuan panas yang cocok untuk baja AISI 8655 yaitu :

Tabel 2. 4 Karakteristik mekanik dan fisik pada Baja AISI 8655 (Warmick, 2011)

| Mechanical Properties | | | | |
|-----------------------|-----------------|------------------------|-------------|-------|
| Quantity | Value | Unit | | |
| Young's modulus | 200000 - 200000 | MPa | | |
| Tensile strength | 650 - 880 | MPa | | |
| Elongation | 8 - 25 | % | | |
| Fatigue | 275 - 275 | MPa | | |
| Yield strength | 350 - 550 | MPa | | |
| Physical Properties | | | | |
| Quantity | Value | Unit | | |
| Thermal expansion | 10 - 10 | e-6/K | | |
| Thermal conductivity | 25 - 25 | W/m.K | | |
| Specific heat | 460 - 460 | J/kg.K | | |
| Melting temperature | 1450 - 1510 | °C | | |
| Density | 7700 - 7700 | kg/m ³ | | |
| Resistivity | 0.55 - 0.55 | Ohm.mm ² /m | | |
| Heat Treatment: | | | | |
| Annealing | Quenching | Tempering | Normalizing | Q & T |
| √ | √ | √ | √ | √ |

Perlakuan panas yang direkomendasikan untuk baja AISI 8655 ini antara lain, *Annealing* dengan merubahnya menjadi struktur *sphere* (*spheroidized*) dengan temperatur 750°C. Selain itu bisa menggunakan *hardening* langsung pada temperatur 830°C dengan pendinginan cepat menggunakan oli. Proses pengerasan permukaan seperti *Flame Hardening*, *Gas Nitriding*, *Ion Nitriding*, dan *Carburizing* juga cocok untuk digunakan. *Tempering* pada baja AISI 8655 biasanya dilakukan pada temperatur sekitar 150°C atau diatasnya.

Aplikasi untuk baja AISI 8655 biasanya digunakan pada kapal, mesin, pesawat terbang, misil, senjata, rel kereta api, jembatan, bejana tekan, *machine tools*, dan komponen mekanik

BAB II TINJAUAN PUSTAKA



yang besar – besar, *gear*, *gear shaft*, *valve rods*, *bolts*, *nuts*, dan *part-part* lainnya dalam mesin. (Chandler, 1995)

2.5 Diagram Fase Fe-Fe₃C

Dalam besi cair karbon dapat larut, tetapi dalam keadaan padat kelarutan karbon dalam besi akan terbatas. Selain sebagai larutan padat, besi dan karbon juga dapat membentuk senyawa *interstisial* (*interstitial compound*), eutektik dan juga eutektoid, atau mungkin juga karbon akan terpisah (sebagai grafit). Karena itu diagram fase besi-karbon ada 2 macam, diagram fase besi – karbida besi dan diagram fase besi – grafit.

Diagram keseimbangan besi – karbon cukup kompleks, tetapi hanya sebagian saja yang penting bagi dunia teknik, yaitu bagian antara besi murni sampai senyawa *interstitial*-nya, karbida besi Fe₃C, yang mengandung 6,67 %C. dan diagram fase yang banyak digunakan adalah diagram fase besi – karbida besi, diagram Fe – Fe₃C.

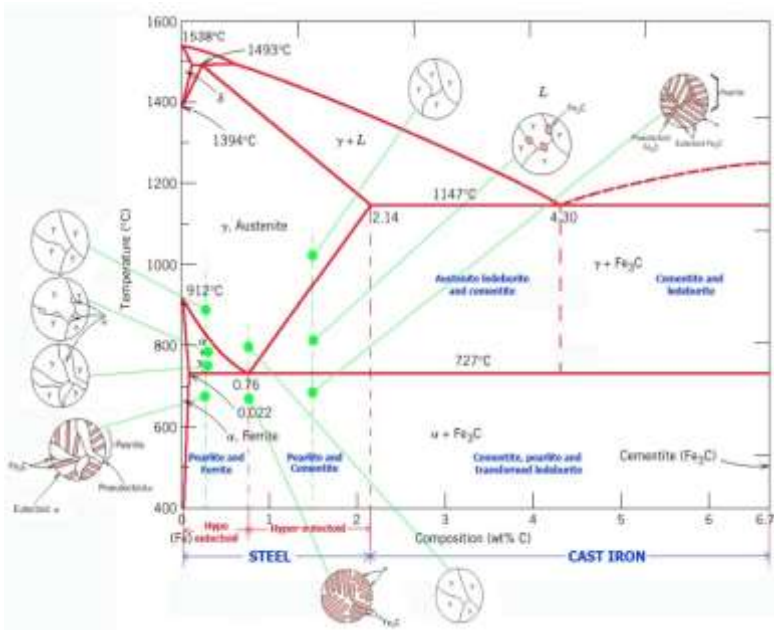
Pada keadaan yang betul – betul ekuilibrium karbon akan berupa karbon bebas (grafit), sehingga akan diperoleh diagram kesetimbangan besi - grafit. Perubahan – perubahan dalam keadaan ekuilibrium berlangsung terlalu lama. Seharusnya karbida besi akan terjadi pada temperatur kamar (pada temperatur sekitar 700°C pun perubahan ini akan makan waktu bertahun – tahun). Dalam hal ini karbida besi dikatakan sebagai suatu struktur yang metastabil. Diagram fase besi – karbida dapat dilihat pada Gambar 2.3.

Dari Gambar 2.3 tampak bahwa diagram fase ini memiliki tiga garis mendatar yang menandakan adanya reaksi yang berlangsung secara *isothermal*, yaitu:

- Pada 1496°C, kadar karbon antara 0.10 – 0.50 %, berlangsung reaksi peritektik. $L + \delta \rightarrow \gamma$ (daerah ini tidak begitu penting untuk dunia teknik)
- Pada 1130°C, kadar karbon antara 2,0 – 6,67 %, berlangsung reaksi eutektik. $L \rightarrow \gamma + \text{Fe}_3\text{C}$



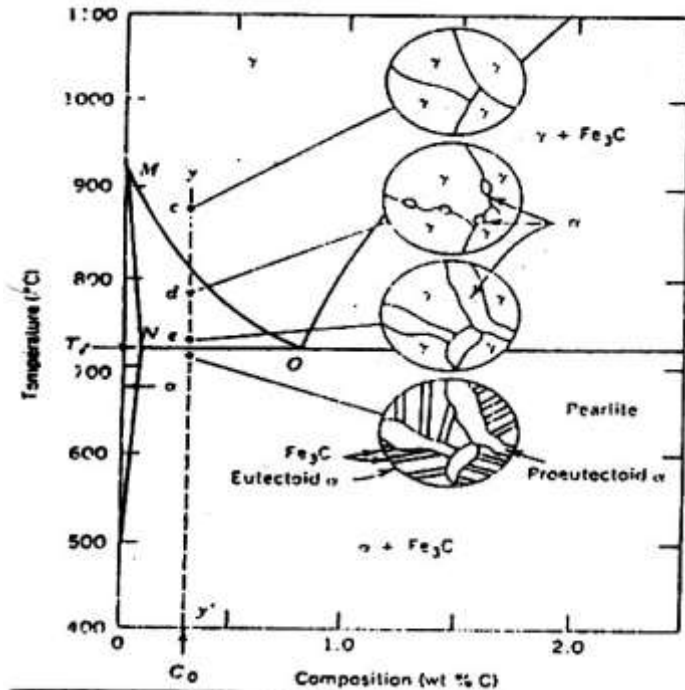
- Pada 723°C, kadar karbon antara 0.025 – 6.67 %, berlangsung reaksi *eutectoid*. $\gamma \rightarrow \alpha + \text{Fe}_3\text{C}$



Gambar 2. 3 Diagram fase Fe - Fe₃C (Avner, 1974)

Material *hammer crusher* yang mengalami keausan merupakan baja *hypoeutectoid* karena kadar karbon yang terdapat pada material tersebut adalah baja karbon menengah sehingga fasa yang terbentuk pada temperatur kamar berupa ferrit dan perlit. Gambar 2.4 menunjukkan perubahan fasa yang terjadi saat memanaskan baja *hypoeutectoid* sampai diatas temperatur austenit dengan menggunakan pendinginan yang sangat lambat.

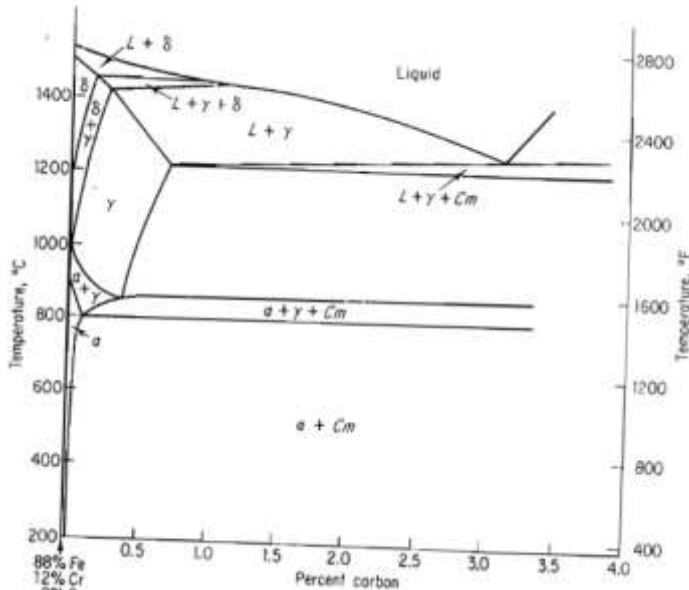
BAB II TINJAUAN PUSTAKA



Gambar 2. 4 Plot struktur mikro pada baja *hypoeutectoid* yang didinginkan secara lambat (Avner, 1974)

2.6 Diagram Fase Fe – 12 % wt Cr – C

Material *hammer crusher* yang sesuai standar ASTM A532 yaitu besi cor putih (*white cast iron*) dengan kadar *chromium* yang sangat tinggi yaitu 12 % Cr. Besi tuang putih yang biasa diproduksi adalah besi tuang putih hipoeutektik, pada Gambar 2. 5 menunjukkan diagram fasa Fe – Fe₃C yang mengandung unsur Cr sebesar 12%.



Gambar 2. 5 Diagram fase Baja Krom pada 12% Cr (Avner, 1974)

Jika memplotkan material *hammer crusher* yang standar dengan kadar karbon 2,2 % C, maka saat dilakukan pemanasan diatas temperature austenit dan kemudian dilakukan pendinginan secara lambat akan diperoleh fasa perlit, ledeburit, dan sementit. Mengingat bahwa sementit adalah struktur yang sangat keras dan getas maka besi tuang putih, yang mengandung sejumlah besar sementit memiliki sifat mekanik yang sangat keras, tahan aus tetapi sangat getas dan sulit di *machining*. Karenanya besi tuang putih jarang dipergunakan, ia dipergunakan hanya bila sifat tahan aus sangat diperlukan tanpa perlu keuletan, misalnya untuk *liner* dari *cement mixer*, *ball mill*, alat – alat *milling* lainnya, dan *extrusion nozzle*. Biasanya besi tuang putih dipergunakan untuk bahan dasar pembuatan besi tuang mampu tempa (*malleable cast iron*). (Avner, 1974)

BAB II TINJAUAN PUSTAKA



2.7 Baja Paduan

Baja adalah paduan besi dan karbon yang mungkin mengandung konsentrasi yang cukup dari lainnya paduan unsur; ada ribuan paduan yang memiliki komposisi yang berbeda perlakuan dengan panas. Sifat mekanik yang sensitif terhadap kandungan karbon, yang biasanya kurang dari 1,0% berat. Beberapa baja yang lebih umum adalah diklasifikasikan menurut konsentrasi karbon-yaitu, menjadi rendah, menengah, dan tinggi karbon jenis. *Subclass* juga ada dalam masing-masing kelompok sesuai dengan konsentrasi dari elemen paduan lainnya. baja karbon biasa hanya berisi konsentrasi residu kotoran selain karbon dan baja paduan *manganese*. Sedikit lebih paduan unsur sengaja ditambahkan dalam konsentrasi tertentu. (Callister, 2007)

2.7.1 Baja Karbon Menengah

Baja karbon-sedang memiliki konsentrasi karbon antara sekitar 0,25 dan 0.60 wt%. Paduan ini mungkin dipanaskan oleh *austenitizing*, pendinginan, dan kemudian temper untuk meningkatkan sifat mekanik baja karbon menengah. Baja menengah paling sering digunakan dalam keadaan temper, memiliki mikro struktur martensit temper. Baja menengah biasa memiliki *hardenability* rendah dan dapat berhasil *heat treatment* hanya di bagian yang sangat tipis dan dengan pendinginan yang sangat cepat. Penambahan kromium, nikel, dan molibdenum meningkatkan kapasitas paduan ini menjadi *heat-treated*. Sehingga menimbulkan berbagai kombinasi kekuatan-keuletan. Paduan yang dipanaskan ini lebih kuat daripada baja karbon rendah, tetapi mengurangi keuletan dan ketangguhan. Aplikasi dari baja menengah yaitu termasuk roda kereta api dan rel, roda gigi, poros engkol, dan bagian-bagian mesin lainnya dan kekuatan tinggi komponen struktural yang membutuhkan kombinasi kekuatan tinggi, ketahanan aus, dan ketangguhan. Komposisi beberapa baja karbon-sedang paduan tersebut pada Tabel 2.5. (Callister, 2007)



Tabel 2. 5 Komposisi karbon pada berbagai material baja karbon menengah (Callister, 2007)

| AISI/SAE | UNS | Composition Ranges (wt% of Alloying Elements in Addition to C)" | | | |
|----------------------|-------------|---|-----------|-----------|--------------------------|
| Designation' | Designation | Ni | Cr | Mo | Other |
| 10xx. Plain Carbon | G10xx0 | | | | |
| 11xx. Free Machining | G11xx0 | | | | 0.08-0.33S |
| 12xx. Free Machining | G12xx0 | | | | 0.10-0.35S 0.04-0.12P |
| 13xx | G13xx0 | | | | 1.60-1.90Mn |
| 40xx | G40xx0 | | | 0.20-0.30 | |
| 41xx | G41xx0 | | 0.80-1.10 | 0.15-0.25 | |
| 43xx | G43xx0 | 1.65-2.00 | 0.40-0.90 | 0.20-0.30 | |
| 46xx | G46xx0 | 0.70-2.00 | | 0.15-0.30 | |
| 48xx | G48xx0 | 3.25-3.75 | | 0.20-0.30 | |
| 51xx | G51xx0 | | 0.70-1.10 | | |
| 61xx | G61xx0 | | 0.50-1.10 | | 0.10-0.15V |
| 86xx | G86xx0 | 0.40-0.70 | 0.40-0.60 | 0.15-0.25 | |
| 92xx | G92xx0 | | | | 1.80-2.20Si |

' The Carbon concentration, in weight percent times 100, is inserted in the place of "xx" for each specific steel.

" Except for 13xx alloys, manganese concentration is less than 1.00 wt%.

Except for 12xx alloys, phosphorus concentration is less than 0.35 wt%.

Except for 11xx and 12xx alloys, Sulfur concentration is less than 0.04 wt%.

Except for 92xx alloys, Silicon concentration varies between 0.15 and 0.35 wt%.

2.8 Analisa Kegagalan

Analisa kegagalan dapat diartikan sebagai pemeriksaan/pengujian terhadap komponen-komponen atau struktur yang mengalami kerusakan beserta kondisi yang menyebabkan kegagalan dengan tujuan untuk mengetahui penyebab dari kegagalan tersebut. Jadi tujuan utama dari analisa

BAB II TINJAUAN PUSTAKA



kegagalan adalah untuk mengetahui mekanisme terjadinya kegagalan serta memberikan solusi-solusi yang dapat dilaksanakan untuk menanggulangi masalah kegagalan tersebut.

Dengan kata lain, analisa kegagalan berujung pada observasi pada komponen-komponen yang rusak. Pengamatan pola patahan yang rusak adalah kunci bagi seluruh proses analisa kegagalan, oleh sebab itu pengamatan secara makrokopis dan mikrokopis harus dilaksanakan secara bertahap. Selain itu pengujian mekanik juga diperlukan karena secara umum kegagalan disebabkan oleh gaya-gaya yang bekerja dari lingkungan kerja komponen.

Menurut sumber-sumber penelitian yang ada di dunia industri (Brooks, 2002). Faktor penyebab kegagalan yang sering terjadi di dunia industri dapat di karenakan :

1. Faktor kesalahan pemilihan material

Hasil penelitian mengenai faktor kegagalan material yang dominan yaitu faktor kesalahan dalam memilih material. Tabel 2.6 dibawah ini menunjukkan statistik tentang permasalahan dalam kasus kegagalan material

Tabel 2. 6 Permasalahan dalam kegagalan komponen mesin
(Brooks, 2002)

| Permasalahan | % |
|--|----------|
| Kesalahan pemilihan material | 38 |
| Cacat produksi | 15 |
| Kesalahan perlakuan panas | 15 |
| Kesalahan desain mekanik | 11 |
| Kondisi operasi yang berlebihan | 8 |
| Kondisi lingkungan yang tidak terkontrol | 6 |
| Pemeriksaan yang kurang baik | 5 |
| Material yang tidak jelas | 2 |

2. Perawatan komponen yang kurang baik



Proses perawatan komponen mesin yang kurang baik termasuk salah satu penyebab kegagalan yang paling dominan. Tabel 2.7 menunjukkan data mengenai kasus kegagalan material yang terjadi.

Tabel 2. 7 Kasus kegagalan material akibat perawatan komponen mesin (Brooks, 2002)

| Permasalahan | % |
|----------------------------|----------|
| Perawatan yang kurang baik | 44 |
| Cacat saat fabrikasi | 17 |
| Defisiensi desain | 16 |
| Pemakaian yang abnormal | 10 |
| Cacat material | 7 |
| Penyebab yang tidak jelas | 6 |

3. Kesalahan dalam perancangan komponen

Faktor kesalahan dalam proses perancangan komponen mesin adalah sebagai berikut:

1. Kegagalan ulet akibat pembebanan yang melebihi kekuatan material
2. Kegagalan getas akibat beban kejut
3. Kegagalan pada temperatur tinggi (pemuluran)
4. *Static delayed fracture*
5. Proses perancangan yang terlalu banyak memicu konsentrasi tegangan seperti takikan
6. Analisa tegangan komponen yang kurang detail yang menyebabkan rawan terjadi kegagalan akibat *overload*
7. Kesalahan dalam menentukan material dari komponen mesin sehingga mempengaruhi hitungan yang dilakukan.

4. Kondisi kerja yang ekstrim

Permasalahan yang spesifik dalam kegagalan komponen mesin akibat kondisi kerja yang ekstrim disajikan dalam Tabel 2.8.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA



Tabel 2. 8 Penyebab kegagalan dalam komponen mesin (Brooks, 2002)

| Penyebab Kegagalan | % |
|--|----|
| Korosi | 29 |
| Kelelahan (<i>fatigue</i>) | 25 |
| Kegagalan getas (<i>brittle fracture</i>) | 16 |
| Kelebihan beban | 11 |
| Korosi temperatur tinggi | 7 |
| Korosi retak tegang, korosi lelah, penggetasan <i>hydrogen</i> | 6 |
| Pemuluran (<i>creep</i>) | 3 |
| Abrasi, Erosi | 3 |

2.8.1 Prosedur dalam Analisa Kegagalan

Ketika terjadi sebuah kegagalan atau retak, perlu dilakukan suatu tindakan untuk mencegah terjadinya kegagalan yang sama dengan menginvestigasi dan menganalisa kegagalan komponen yang terjadi. Adapun tindakan yang perlu dilakukan dalam menginvestigasi komponen yaitu (Nishida, 1992):

1. Material yang digunakan
 - a. Data produksi : *melting, rolling, forming, casting, heat treatment*, dan proses *machining*
 - b. Analisa kimia : pengujian X-Ray, komposisi kimia
 - c. Sifat mekanik : *tensile, bending, hardness, impact*, dan *fatigue test*.
 - d. Struktur metalurgi : struktur makro dan mikro struktur
 - e. Pengerasan permukaan dan tegangan sisa ; *finishing*
 - f. Patah permukaan
2. Desain tegangan dan kondisi perawatan
 - a. Kekuatan dari luar : golongan, besar, pengulangan.
 - b. Atmosfir : udara, air, air laut, dan sebagainya
 - c. Yang lain : kondisi perbaikan
3. Uji percobaan



- a. Uji laboratorium : perhitungan tegangan (kekuatan material, *finite element method* (FEM), kekuatan lelah, kekerasan patahan.
 - b. Konfirmasi uji lapangan : ukuran tegangan, uji produksi.
4. Hasil uji seluruhnya.

2.9 Heat Treatment

Perlakuan panas adalah kombinasi operasi pemanasan dan pendinginan terhadap logam atau paduan dalam keadaan padat dengan waktu tertentu, dimaksudkan untuk memperoleh sifat tertentu (Rochman Rochiem, 2009). Secara umum heat treatment dibagi dalam tiga tahap, yaitu:

1. Pemanasan sampai suhu tertentu sesuai dengan proses heat treatment dan dengan kecepatan tertentu tergantung dari dimensi dan konduktifitas perpindahan panas benda kerja.
2. Mempertahankan suhu untuk waktu tertentu, sehingga temperaturnya merata pada seluruh bagian benda kerja.
3. Pendinginan dengan media pendingin yang bergantung pada proses heat treatment dan benda kerja. Pada baja karbon rendah dan sedang biasanya digunakan air sebagai media pendingin, karena laju pendinginannya cukup cepat sehingga terbentuk martensit. Sedangkan pada baja karbon tinggi dan baja paduan digunakan minyak sebagai media pendingin dengan laju pendinginan yang lebih lambat. (Rina Dwi Yani, 2008)

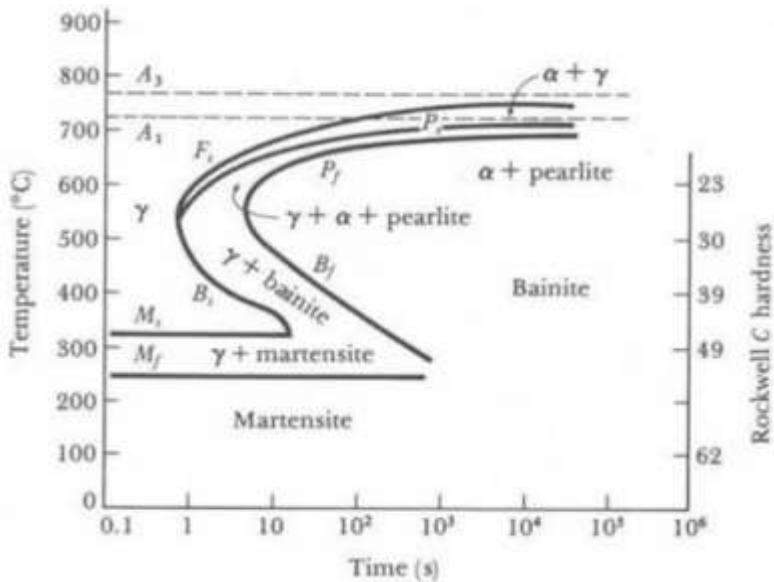
2.9.1 Hardening

Baja dikeraskan dengan austenitisasi, pendinginan cepat (*quenching*), dan kemudian tempering untuk mencapai kekerasan akhir. Baja memiliki komposisi yang berbeda-beda maka dari itu penting untuk memahami ketebalan maksimum yang dapat dikeraskan pada suatu media pendingin yang spesifik, misalnya air atau minyak, dan memperkirakan variasi kekuatan akhir dan keuletan yang dapat diperoleh pada temperatur *tempering* yang

BAB II TINJAUAN PUSTAKA



berbeda-beda. Prosedur untuk quenching dan *tempering* seperti pada Gambar 2.6. *Tempering* tidak digunakan untuk mengeraskan baja. Baja dikeraskan dengan austenitisasi dan *quenching*. *Tempering* dilakukan untuk mengembalikan keuletan yang hilang saat dikeraskan dan biasanya penghalusan (*softening*) diperoleh dengan *tempering*.



Gambar 2. 6 Diagram TTT untuk baja *Hypoeutectoid* (Campbell, 2008)

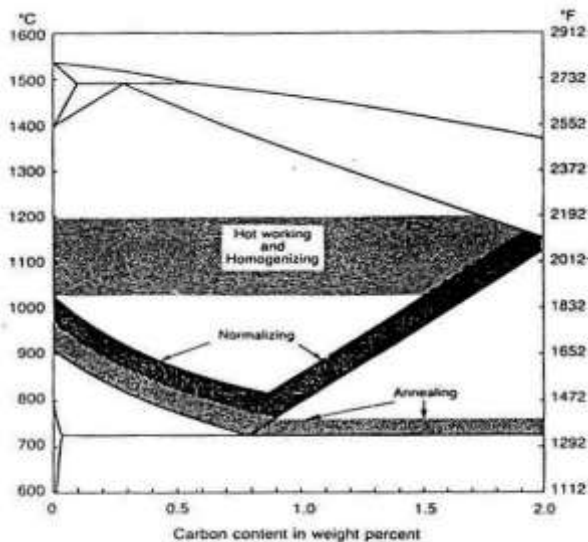
Kandungan karbon sangat penting terhadap kemampuan suatu baja untuk dikeraskan. Keuletan berkurang dengan meningkatnya kandungan karbon, kandungan karbon pada umumnya dijaga sekitar 0,45% pada baja teknik. Penambahan unsur paduan akan menggeser hidung diagram TTT ke kanan, sehingga mempermudah benda kerja yang tebal untuk dikeraskan. Unsur paduan tidak meningkatkan kekerasan martensit secara



signifikan, tetapi hardenability, kedalaman dari permukaan struktur mikro martensit dapat dihasilkan pada baja. (Campbell, 2008)

2.9.1.1 Austenitisasi

Pada proses austenitisasi, baja dipanaskan sampai daerah austenit (γ) dan ditahan selama beberapa waktu tertentu untuk melarutkan karbida sampai menjadi larutan padat austenit. Temperatur yang dibutuhkan untuk melakukan austenitisasi pada kadar karbon tertentu seperti pada Gambar 2. 7.



Gambar 2. 7 Rentang temperatur austenitisasi pada perlakuan panas (Campbell, 2008)

Peningkatan kadar karbon, temperatur berkurang sepanjang garis A3 sampai mencapai minimum pada A1, komposisi eutektoid (0,8%), dan kemudian meningkat sepanjang garis Acm . Tahap pertama pada pembentukan austenit adalah nukleasi dan pertumbuhan austenit dari perlit (ferit+Fe₃C). Pembentukan austenit yang homogen dapat dipercepat dengan meningkatkan

BAB II TINJAUAN PUSTAKA



temperatur dan meningkatkan kehalusan partikel karbida mula-mula. Meskipun begitu, temperatur austenitisasi perlu dijaga serendah mungkin untuk mengurangi retak dan distorsi, mengurangi oksidasi dan dekarburisasi, dan mengurangi pertumbuhan butir (Campbell, 2008). Temperatur yang dibutuhkan untuk mencapai 100% austenit pada baja *hypereutektoid* cukup tinggi, meskipun begitu austenit untuk pengerasan pada baja dapat diperoleh pada temperatur sekitar 770°C. Karbida yang tidak terlarut dalam jumlah kecil memiliki pengaruh yang kecil pada sifat mekanik akhir baja.

2.9.1.2 Cooling

Proses perlakuan panas *hardening* dilakukan dengan memanaskan baja hingga mencapai temperatur austenitisasi, ditahan beberapa waktu tertentu pada temperatur tersebut, lalu didinginkan dengan cepat (*quenching*), sehingga diperoleh martensit. Pada suatu benda kerja yang dikeraskan maka kekerasan yang terjadi akan tergantung pada seberapa banyak martensit yang terbentuk dan kekerasan martensit itu sendiri. Banyaknya martensit yang akan terjadi tergantung pada seberapa banyak austenit yang terjadi pada saat pemanasan dan seberapa cepat pendinginannya sedangkan kekerasan martensit tergantung pada kadar karbon dalam baja yang terlarut dalam austenit. Pada saat baja didinginkan secara cepat dari temperatur austenitisasi (*quench*), karbon tidak memiliki waktu untuk berdifusi dari struktur mikro austenit ketika struktur ini bertransformasi menjadi BCT (*Body Centered Tetragonal*), struktur ini disebut martensit.

Proses *quenching* merupakan proses mendinginkan pada laju pendinginan tertentu untuk membentuk martensit. Distorsi struktur BCT menghasilkan kekuatan dan kekerasan yang tinggi pada baja yang di-*quench*. Beberapa baja di-*quench* dengan air atau oli untuk menghasilkan laju pendinginan yang cukup. Pendinginan dengan air menghasilkan laju pendinginan tercepat juga menghasilkan tegangan sisa yang paling tinggi sehingga dapat menghasilkan distorsi dan retak. Terdapat tiga tahapan hilangnya panas selama



quenching pada media *liquid*, seperti pada Gambar 2.8, yaitu *vapor blanket*, *nucleate boiling* dan *liquid cooling*. Tahap *vapor blanket* memiliki karakteristik dengan uap air menyelimuti benda kerja. Hal ini terjadi karena suplai panas dari bagian dalam benda kerja yang menuju permukaan melebihi jumlah panas yang dibutuhkan untuk menguapkan *quenchant* dan menghasilkan fasa uap air. Laju pendinginan tertinggi terjadi pada tahap *nucleate boiling*. Selama periode ini uap air terlepas dan laju ekstraksi panas yang dihasilkan berhubungan dengan pendidihan inti (*nucleate boiling*) dari *quenchant* pada logam. Panas secara cepat dilepas dari permukaan akibat kontak cairan pendingin pada logam dan kemudian menguap. Tahap *liquid cooling* dimulai ketika temperatur permukaan logam berkurang sampai dibawah titik didih cairan *quenching*. Dibawah temperatur ini, pendinginan terjadi dengan mekanisme konduksi dan konveksi pada *quenchant*.



Gambar 2. 8 Tiga Tahapan pada *quenching* (Campbell, 2008)

2.9.2 Normalizing

Normalizing adalah proses yang diterapkan pada baja karbon rendah atau sedang atau baja paduan agar struktur butiran lebih merata atau untuk menghilangkan tegangan dalam atau untuk memperoleh sifat fisis yang diinginkan. Spesimen yang telah dibentuk sesuai dengan ukuran pengujian selanjutnya dipanaskan

BAB II TINJAUAN PUSTAKA



dalam tungku pemanas *Hoffman*. Spesimen tersebut dipanaskan pada temperatur 820°C. Kemudian dikeluarkan dan dibiarkan di udara terbuka hingga temperatur kamar selain 30 menit. Tujuan dari pemanasan ini antara lain untuk menghilangkan ketidakseragaman mikrostruktur, mengeleminasi tegangan sisa meningkatkan keseragaman dan penghalusan ukuran butir. Hal ini biasanya dilakukan pada material yang telah mengalami *hot working* seperti *forging*, *rolling*, *extrusion* dan sebagainya. (Nukman, 2009)

2.10 Pengujian Kekerasan

Pada umumnya, kekerasan menyatakan ketahanan terhadap deformasi dan merupakan ukuran ketahanan logam terhadap deformasi plastik atau deformasi permanen (Dieter, 1987). Hal ini sering diartikan sebagai ukuran kemudahan dan kuantitas khusus yang menunjukkan nilai kekerasan material.

Pada pengujian kekerasan terdapat tiga jenis ukuran kekerasan, hal ini tergantung pada cara melakukan pengujian, yaitu:

1. Kekerasan goresan (*scratch hardness*),
2. Kekerasan lekukan (*indentation hardness*),
3. Kekerasan pantulan (*rebound*)

Pengujian yang sering dilakukan pada logam adalah pengujian kekerasan indentasi. Pada model ini kekerasan suatu material diukur terhadap tahanan plastis dari permukaan suatu material komponen konstruksi mesin dengan spesimen standart terhadap *indentor*. Terdapat berbagai macam uji kekerasan indentasi, antara lain: uji kekerasan *Brinell*, *Vickers*, *Rockwell* dan *Knoop*.

Kekerasan dari besi cor umunya cukup tinggi, sehingga untuk mendapatkan hasil yang maksimum, maka metode pengujian kekerasan yang cocok adalah dengan menggunakan *Brinell Hardness Testing*. (Murtiono, 2012)



2.10.1 Uji Kekerasan Brinell

Uji *brinell* dilakukan dengan penekanan sebuah bola baja yang terbuat dari baja *chromium* yang telah dikeraskan dengan diameter tertentu, oleh gaya tekan secara statis kedalam permukaan logam yang diuji harus rata dan bersih. Setelah gaya tekan ditiadakan dan bola baja dikeluarkan dari bekas lekukan, maka diameter paling atas dari lekukan tadi diukur secara teliti untuk kemudian dipakai untuk penentuan kekerasan logam yang diuji dengan menggunakan rumus:

$$\text{BHN} = \frac{2P}{\pi D [(D - \sqrt{D^2 - d^2})]} \quad \dots\dots(2.1)$$

Dimana :

P = Beban yang diberikan (KP atau Kgf).

D = Diameter indenter yang digunakan.

d = Diameter bekas lekukan

2.11 Pengujian Impact

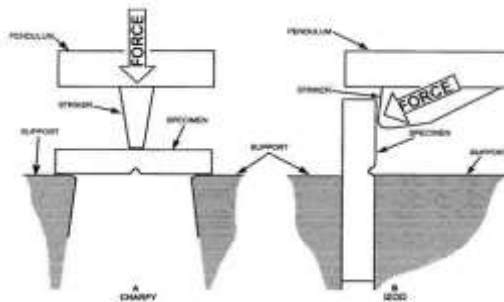
Uji impact digunakan dalam menentukan kecenderungan material untuk rapuh atau ulet berdasarkan sifat ketangguhannya. Hasil uji impact juga tidak dapat membaca secara langsung kondisi perpatahan batang uji, sebab tidak dapat mengukur komponen gaya-gaya tegangan tiga dimensi yang terjadi pada batang uji. Hasil yang diperoleh dari pengujian impact ini, juga tidak ada persetujuan secara umum mengenai interpretasi atau pemanfaatannya.

Sejumlah uji impact batang uji bertakik dengan berbagai desain telah dilakukan dalam menentukan perpatahan rapuh pada logam. Metode yang telah menjadi standar untuk uji impact ini ada 2, yaitu uji impact metode *charpy* dan metode *izod*. Metode *charpy* banyak digunakan di Amerika Serikat, sedangkan metode *izod* lebih sering digunakan di sebagian besar dataran Eropa. Batang uji

BAB II TINJAUAN PUSTAKA



metode *charpy* memiliki spesifikasi, luas penampang 10 mm x 10 mm, takik berbentuk V. Proses pembebanan uji impak pada metode *charpy* dan metode *izod* dengan sudut 45°, kedalaman takik 2 mm dengan radius pusat 0.25 mm. Batang uji *charpy* kemudian diletakkan horizontal pada batang penumpu dan diberi beban secara tiba-tiba di belakang sisi takik oleh pendulum berat berayun (kecepatan pembebanan ± 5 m/s). Batang uji diberi energi untuk melengkung sampai kemudian patah pada laju regangan yang tinggi hingga orde 10^3 s⁻¹. Batang uji *izod*, lebih banyak dipergunakan saat ini, memiliki luas penampang berbeda dan takik berbentuk v yang lebih dekat pada ujung batang. Gambar 2.9 menunjukkan dua metode ini juga memiliki perbedaan pada proses pembebanan. (Dieter, 1987)



Gambar 2. 9 Pembebanan Metode *Charpy* dan Metode *Izod*
(Handoyo, 2013)

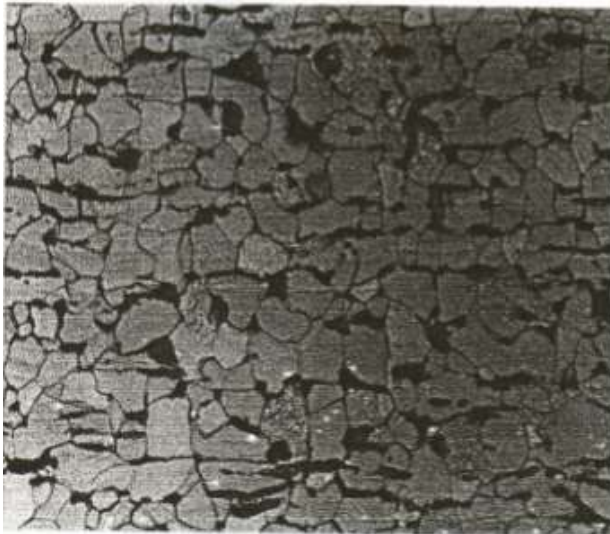
Dimana benda uji dibuat takikan terlebih dahulu sesuai dengan standar ASTM E23 05 dan hasil pengujian pada benda uji tersebut akan terjadi perubahan bentuk seperti bengkokan atau patahan sesuai dengan keuletan atau kegetasan terhadap benda uji tersebut. Percobaan uji *impact charpy* dilakukan dengan cara pembebanan secara tiba-tiba terhadap benda uji yang akan diuji secara statik, dimana pada benda uji dibuat terlebih dahulu sesuai dengan ukuran standar ASTM E23 05. (Handoyo, 2013)



2.12 Penelitian Sebelumnya

2.12.1 Perubahan Struktur Mikro dan Sifat Mekanik Pada Pengelasan Drum Baja Karbon Wadah Limbah Radioaktif

Material Induk Sebelum dilas pada suhu kamar berupa baja *hypoeutectoid* yang memiliki struktur mikro yang terdiri dari butiran kristal *ferrite* dan *pearlite*. Hal ini sesuai dengan Gambar 2.10 bahwa struktur mikro logam induk terdiri dari *ferrite* dan *pearlite*. *Ferrite* adalah suatu komposisi logam (fase) yang mempunyai batas maksimum kelarutan karbon 0,025 % pada temperatur 723°C, struktur kristalnya *Body Center Cubic* (BCC) dan pada suhu kamar mempunyai batas kelarutan karbon 0,008 %. Sedangkan *pearlite* ialah campuran *eutectoid* antara *ferrite* dengan *cementite* yang terbentuk pada temperatur 723°C dengan kandungan karbon 0,83 %. *Cementite* ialah suatu senyawa yang terdiri dari unsur Fe dan C dengan perbandingan tertentu (Fe_3C) dengan struktur kristalnya *Orthohombik*. (Aisyah, 2011)



Gambar 2. 10 Struktur Mikro yang Menunjukkan fasa *Pearlite* dan *Ferrite* (Aisyah, 2011)

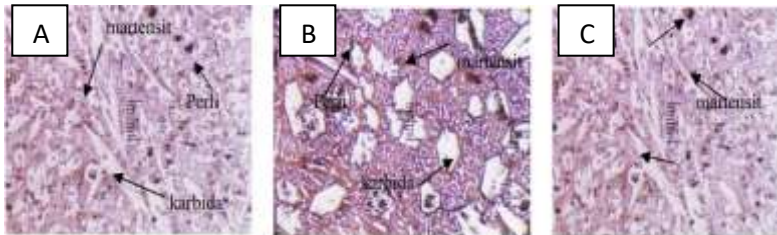
BAB II TINJAUAN PUSTAKA



2.12.2 Pengaruh Viskositas Media Celup Terhadap Kekerasan dan Struktur Mikro *Martensitic White Cast Iron* ASTM A532

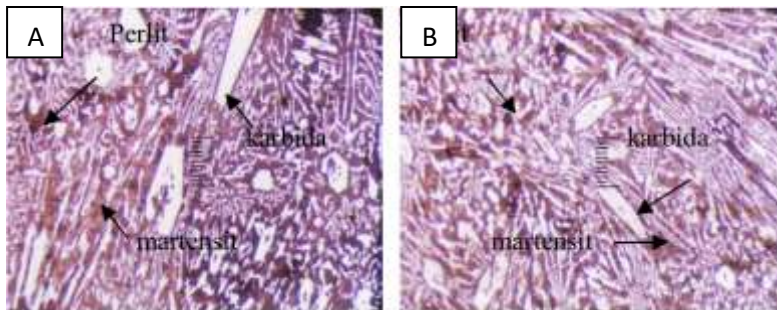
Besi tuang putih memiliki keunggulan yaitu tahan aus, tahan korosi, kekuatan dan keuletan yang tinggi serta tahan terhadap perubahan suhu. Besi tuang putih banyak digunakan pada industri pembuatan roda kereta api, rol untuk menggerus (*grinding*) dan plat penghancur batu. Kelemahan dari besi tuang putih tersebut adalah ketahanan terhadap keausan belum maksimal. Peningkatan ketahanan terhadap keausan salah satunya dengan proses *heat treatment*. Tujuan penelitian ini untuk mengetahui pengaruh viskositas pada media celup terhadap kekerasan dan struktur mikro besi tuang putih martensitik ASTM A532. Spesimen besi tuang putih martensitik ASTM A532 merk Cr 12, Cr 17, Cr 21 dengan ukuran 15 mm x 10 mm x 10 mm, selanjutnya dilakukan proses uji komposisi, *heat treatment* dengan suhu 900°C ditahan 30 menit, lalu dicelupkan media oli dengan viskositas SAE 10, SAE 30, SAE 50. Pengujian meliputi uji kekerasan *vickers* dan pengamatan struktur mikro. (Subardi, 2011)

Hasil pengujian struktur mikro menunjukkan bahwa struktur ASTM A532 Cr 12, Cr 17 dan Cr 21 terdiri dari martensit, perlit dan karbida Cr yang dapat dilihat pada Gambar 2.11. Struktur martensit dalam gambar foto mikro besi tuang putih Cr 12 tanpa proses *heat treatment* tersebut terlihat paling sedikit martensit, struktur perlit dan karbida Cr lebih banyak dan merata. Struktur mikro besi tuang putih Cr 17 tanpa proses *heat treatment* tersebut terlihat paling sedikit martensit dan struktur perlit dan karbida Cr lebih banyak dan merata. Struktur gambar pada foto mikro pada besi tuang putih Cr 21 tanpa proses *heat treatment* tersebut terlihat lebih sedikit struktur martensit, perlit sebaliknya karbida Cr lebih banyak dan merata. (Subardi, 2011)



Gambar 2. 11 Struktur mikro spesimen *martensitic white cast iron* tanpa proses *heat treatment*: (A). ASTM A532 Cr 12 (B) ASTM A532 Cr 17 (C) ASTM A532 Cr 21 (Subardi, 2011)

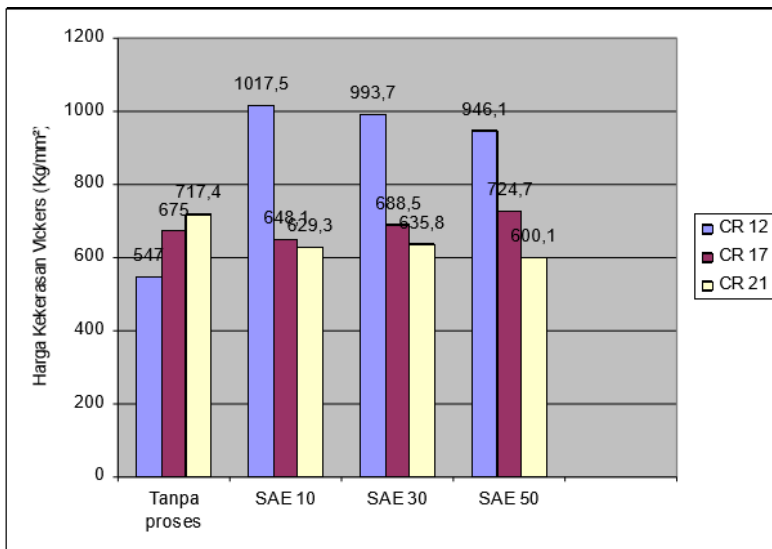
Besi tuang putih martensitik ASTM A532 pada proses *heat treatment* dengan *quenching* viskositas oli SAE 10 dapat dilihat pada Gambar 2.12, pada struktur mikro besi tuang putih terlihat lebih dominan martensit tersebar merata di antara perlit dan karbida Cr lebih sedikit, Besi tuang putih dengan viskositas oli SAE 30, struktur mikro besi terlihat lebih banyak struktur martensit tersebar merata di antara perlit dan karbida Cr lebih sedikit, besi tuang putih dengan viskositas oli SAE 50 pada gambar struktur mikro besi tuang putih martensitik terlihat lebih dominan martensit tersebar merata dan struktur perlit dan carbida Cr lebih sedikit. (Subardi, 2011)



Gambar 2. 12 Struktur mikro spesimen *martensitic white cast iron* ASTM A532 Cr 12: (A) *Quenching* Oli SAE 10; (B) *Quenching* Oli SAE 30 (Subardi, 2011)



Hasil uji kekerasan pada Gambar 2.13 menunjukkan bahwa ASTM A532 dengan kode Cr 12 adalah spesimen yang mempunyai nilai kekerasan paling tinggi di bandingkan dengan jenis Cr 17 dan Cr 21, yaitu senilai 1017.5 Kg/mm², kekerasan tersebut didapat pada saat spesimen di-*quenching* dengan media oli viskositas SAE 10, kemudian setelah di celupkan oli SAE 50 kekerasan menurun sampai dengan 946.1 Kg/mm². Semakin tinggi viskositas maka laju pendinginan semakin lambat, sehingga struktur martensit yang terbentuk semakin berkurang dan bentuknya semakin tidak lancip. (Subardi, 2011)



Gambar 2. 13 Histogram distribusi kekerasan rata-rata (Kg/mm²) hasil uji kekerasan *Vickers* pada besi tuang putih martensitik ASTM A532(Cr 12, Cr 17, Cr 21) (Subardi, 2011)

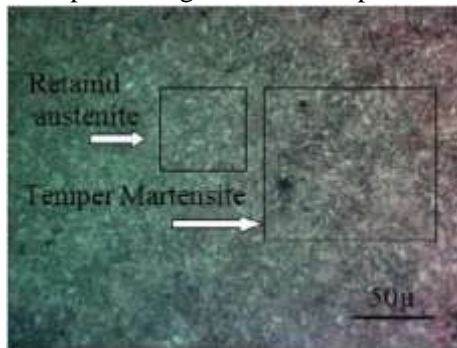
2.12.3 Pengaruh Perbedaan Kondisi *Tempering* Terhadap Struktur Mikro dan Kekerasan Dari Baja AISI 4140

Tujuan penelitian ini untuk mengetahui sifat mekanis dan struktur mikro dari baja karbon menengah paduan rendah (*Low*



Alloy Medium Carbon Steel) AISI 4140 dengan perbedaan kondisi *tempering*. Pada penelitian ini, material terlebih dahulu dikeraskan (*Hardening*) dengan cara pemanasan material sampai temperatur 900°C dan ditahan selama 3 jam lalu didinginkan dengan cepat (*quenching*) pada media pendingin polimer sampai mencapai temperatur kamar. *Tempering* dilakukan dengan variasi *holding time* 0.5 jam, 1 jam dan 2 jam pada temperatur 600°C. (Suherman, 2011)

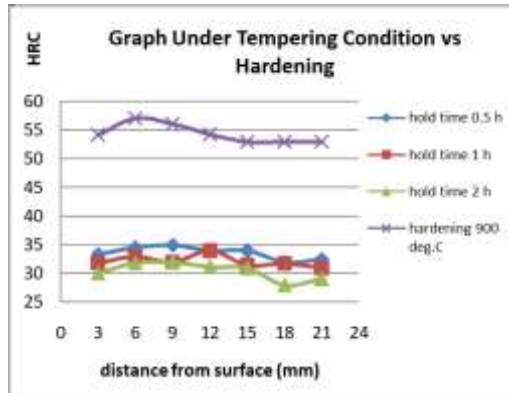
Proses temper pada temperatur 600°C dengan waktu tahan selama 2 jam austenit sisa (*retained austenite*) terlihat jelas. Gambar 2.14 memperlihatkan temper martensit lebih seragam dan austenit sisa terlihat putih dengan matrik temper martensit.



Gambar 2. 14 Struktur mikro AISI 4140 setelah Proses Temper (600°C/2 jam) (Suherman, 2011)

Nilai rata-rata kekerasan *as bar* meningkat drastis setelah proses *quench* sebelum dikeraskan (*before hardening*) 26.6 HRC dan setelah dikeraskan (*after hardening*) naik 104 % menjadi 54.3 HRC yang ditunjukkan oleh Gambar 2.15. Setelah proses temper pada temperatur 600°C nilai rata-rata kekerasan menurun selama peningkatan waktu penahanan pada kondisi temper. Nilai kekerasan turun hingga 44.1% sebesar 30.4 HRC, pada penahanan selama 2 jam. Pengamatan mikrostruktur menampakkan bahwa temper martensit lebih seragam dengan pertambahan waktu penahanan (*hold time*) pada saat temper. (Suherman, 2011)

BAB II TINJAUAN PUSTAKA



Gambar 2. 15 Grafik Pengaruh proses temper dan perbedaan waktu tahan (*hold time*) pada kondisi *tempering* terhadap kekerasan (Suherman, 2011)

2.12.4 Penelitian Pengaruh Variasi Temperatur Pemanasan *Low Tempering*, *Medium Tempering* dan *High Tempering* pada *Medium Carbon Steel* Produksi Pengecoran Batur-Klaten Terhadap Struktur Mikro, Kekerasan dan Ketangguhan (*Toughness*)

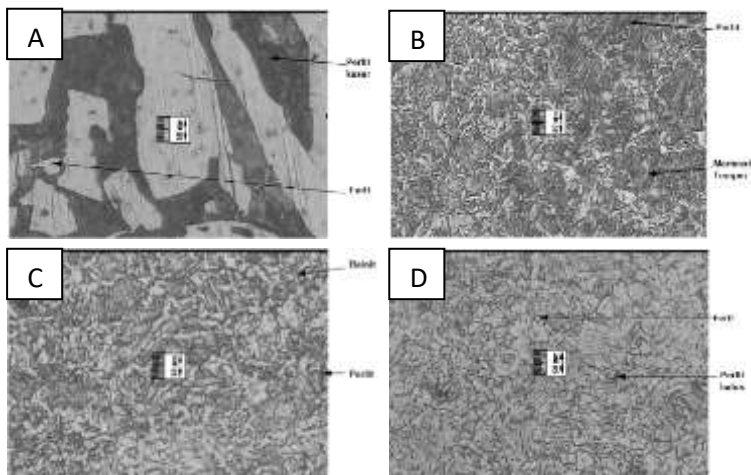
Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui prosentase unsur utama penyusun komposisi kimia, fasa struktur mikro, harga kekerasan dan harga impak (*toughness*) pada baja *medium carbon steel* dengan variasi spesimen: *raw material*, *tempering 200°C*, *tempering 400°C* dan *tempering 600°C*. Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah baja tuang yang diproduksi salah satu pabrik pengecoran di Batur Ceper Klaten. Pemberian laku panas di dalam tungku (*furnace*) 850°C selama 30 menit dengan variasi *tempering*: 200°C, 400°C dan 600°C. Pengujian yang dilakukan adalah uji komposisi kimia, struktur mikro, kekerasan dan impak. (Yogantoro, 2010)

Martensit bilah (*lath martensite*) terbentuk jika kadar C dalam baja sampai 0,6% sedangkan diatas 1% C akan terbentuk martensit pelat (*plate martensite*). Perubahan dari tipe bilah ke



pelat terjadi interval $0,6\% < C < 1,08\%$ kekerasan dari martensit > 500 HVN. (Yogantoro, 2010)

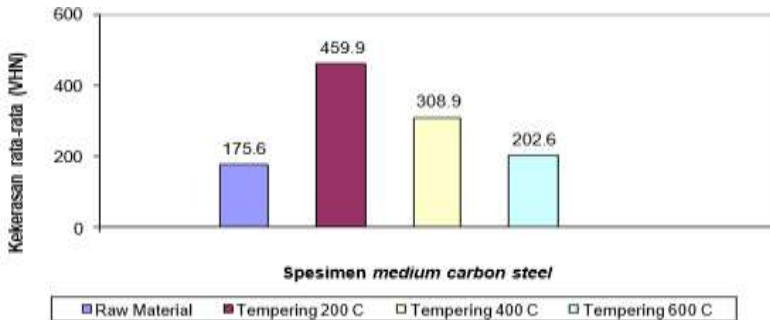
Dari hasil pengujian komposisi kimia pada spesimen besi *medium carbon steel* didapatkan unsur penyusun utama adalah besi (Fe) = 97,44%; silikon (Si) = 0,665 % dan mangan (Mn) = 0,738%. Dari hasil pengamatan struktur mikro yang dapat dilihat pada Gambar 2.16, pada spesimen *raw material* didapatkan fasa ferit dan perlit kasar, spesimen *tempering* 200°C didapatkan fasa martensit temper dan perlit, spesimen *tempering* 400°C didapatkan fasa bainit dan perlit, pada spesimen *tempering* 600°C didapatkan fasa ferit dan perlit halus. (Yogantoro, 2010)



Gambar 2. 16 Foto Struktur Mikro *Medium Carbon Steel* perbesaran 200x: (A) *Raw Material*; (B) *Tempering* 200°C; (C) *Tempering* 400°C; (D) *Tempering* 600°C (Yogantoro, 2010)

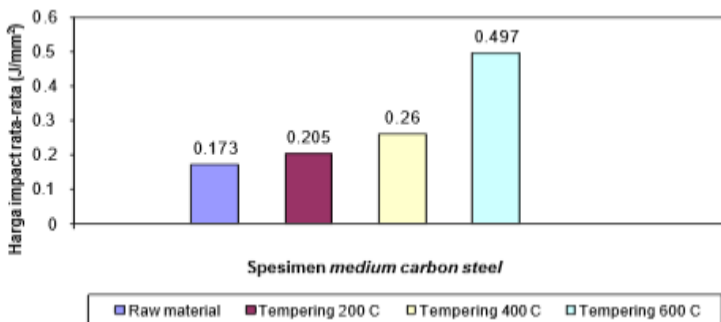
Hasil kekerasan dapat dilihat pada Gambar 2.17 untuk *tempering* 200°C sebesar 459,9 VHN, untuk *tempering* 400°C sebesar 308,9 VHN, untuk *tempering* 600°C sebesar 202,6 VHN dan yang paling rendah spesimen *raw material* sebesar 175,6 VHN. (Yogantoro, 2010)

BAB II TINJAUAN PUSTAKA



Gambar 2. 17 Histogram perbandingan harga kekerasan rata-rata spesimen *medium carbon steel* (Yogantoro, 2010)

Hasil pengujian impak dapat dilihat pada Gambar 2.18 untuk *tempering* 200°C diperoleh 0,205 J/mm², untuk *tempering* 400°C diperoleh 0,260 J/mm², untuk *tempering* 600°C diperoleh 0,497 J/mm² dan yang paling getas adalah spesimen *raw material* sebesar 0,173 J/mm². (Yogantoro, 2010)



Gambar 2. 18 Histogram perbandingan harga impak rata-rata (Yogantoro, 2010)

2.12.5 Pengaruh Media Pendingin pada *Heat Treatment* Terhadap Struktur Mikro dan Sifat Mekanik *Friction Wedge AISI 1340*

Baja AISI 1340 termasuk baja paduan rendah dengan komposisi karbon 0.38-0.43% dan Mangan 1,78%. Baja ini



digunakan untuk komponen kereta api *Friction Wedge* yang memiliki standar kekerasan minimal 300 BHN. Untuk menambah kekerasan, salah satu cara yang digunakan adalah *heat treatment*. Pada penelitian ini variasi yang digunakan adalah media pendingin air, oli SAE 20W, PVA 20% dan pendinginan udara pada temperatur austenitisasi 840°C dan waktu tahan 20 menit. (Bayu Adie Septianto, 2013)

Gambar 2.19 (A) dan 2.20 (A) menunjukkan struktur mikro hasil *casting* tanpa perlakuan pada daerah permukaan dan *cross section friction wedge*. Struktur yang terlihat adalah ferrit dan perlit. Lubang hitam yang cukup banyak adalah void atau pengotor yang merupakan bawaan baja cor. (Bayu Adie Septianto, 2013)

Gambar 2.19 (B) menunjukkan struktur martensit yang berbentuk jarum-jarum pendek. Martensit adalah struktur yang terbentuk karena proses pendinginan non-ekuilibrium yang cepat atau sangat cepat pada temperatur austenitisasinya. Fasa yang terbentuk adalah martensit yang hampir penuh, ini menunjukkan bahwa martensit yang terbentuk hampir maksimum dalam strukturnya. Bisa dipastikan baja ini sangat keras, namun getas. Sedangkan Gambar 2.20 (B) adalah struktur *cross section* dari *friction wedge*, dilihat dari strukturnya terlihat bahwa austenit sisa yang terbentuk lebih besar, dan tidak seluruhnya membentuk martensit seperti pada struktur mikro permukaannya. (Bayu Adie Septianto, 2013)

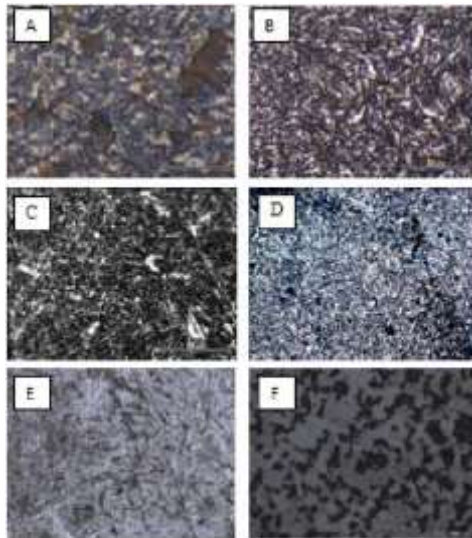
Gambar struktur mikro 2.19 (C) hampir sama dengan gambar struktur mikro 2.19 (B) namun apabila dilihat dari perbesaran 1000x dibawah mikroskop optik, perbedaan ada pada bentuk martensitnya, dimana bentuknya lebih memanjang. Bila kadar karbon dalam austenit lebih tinggi maka struktur martensit akan lebih memanjang, juga menjadi lebih tegang, keras dan getas. Namun, struktur yang terbentuk pada permukaan spesimen *quench* air ini tidak sepenuhnya martensit tetapi ada juga austenit sisa dalam struktur tersebut yang berwarna terang, sedangkan martensit berwarna gelap. Apabila dibandingkan dengan struktur *cross section* (Gambar 2.20c), perbedaan ada pada jumlah austenit sisa

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

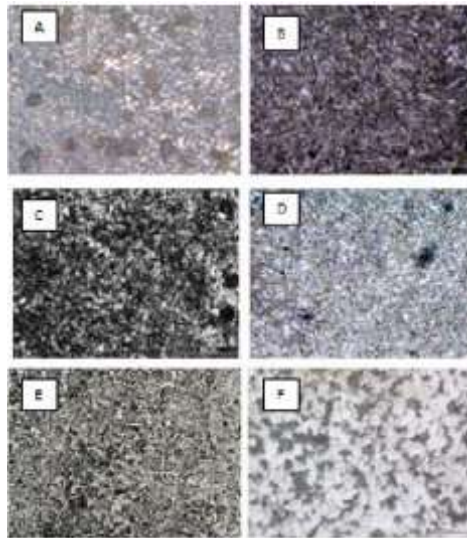


yang semakin banyak. Hal ini dikarenakan laju pendinginan yang berbeda saat kondisi *quench* air, dimana pada daerah permukaan laju pendinginannya lebih besar daripada daerah inti. (Bayu Adie Septianto, 2013)

Gambar 2.19 (D) menunjukkan hasil struktur mikro hasil heat treatment dengan metode *quench* oli pada daerah *surface*. Berbeda dengan *quench* air, pada struktur mikro *quench* oli ini strukturnya berupa martensit yang lebih halus dan lebih banyak austenit sisa yang terbentuk. Pada daerah *cross section* (Gambar 2.20 D) bisa dilihat bahwa struktur yang terbentuk juga sama martensit dan austenit sisa dengan perbedaan austenit dalam struktur yang tidak terlalu mencolok, seperti pada *quench* air.



Gambar 2. 19 Hasil struktur mikro pada permukaan dengan perbesaran 1000x : (A) *As cast* (B) *As quench* (C) *Water quench* (D) *Oil quench* (E) *Polymer aqueous quench* (F) *Normalizing* ; dengan etsa 2-4% nital.



Gambar 2. 20 Hasil struktur mikro pada *cross section* dengan perbesaran 1000x (A) *As cast* (B) *As quench* (C) *Water quench* (D) *Oil quench* (E) *Polymer aqueous quench* (F) *Normalizing* ; dengan etsa 2-4% nital.

Gambar 2.19 (E) merupakan struktur mikro baja yang telah mengalami *heat treatment* dengan pendinginan celup larutan polimer, terlihat sekilas struktur yang terbentuk merupakan campuran dari martensit dan bainit. Bentuk bainit berupa jarum-jarum *acicular* yang tidak sejajar satu sama lain dan berwarna gelap. Struktur ini disebut *accicular bainite* atau bainit bawah. Dalam struktur mikro hasil *quenching polymer* ini juga terdapat sedikit martensit yang terbentuk. Apabila dibandingkan dengan daerah *cross section* (Gambar 2.20 E), martensit yang terbentuk memang masih ada namun hampir tidak terlihat karena jumlahnya sedikit. Laju pendinginan yang berbeda menyebabkan tidak homogennya struktur pada permukaan dan kedalaman tertentu. (Bayu Adie Septianto, 2013)

BAB II TINJAUAN PUSTAKA



Pendinginan dengan udara atau biasa disebut normalizing tidak terbentuk martensit, strukturnya pada permukaan berupa perlit dengan matriks ferrit (lihat Gambar 2.19 F). Struktur perlit merupakan campuran dari ferrit dan sementit yang berlapis-lapis. Pada perbesaran 1000x dibawah mikroskop optik, butiran yang terbentuk berupa perlit yang halus atau biasa disebut *fine pearlite*. Perlit berwarna hitam sedangkan matriksnya, ferrit berwarna terang. Batas butir nampak jelas pada struktur mikro hasil pendinginan udara dengan etsa nital 2%, hal yang tidak dijumpai pada struktur mikro hasil pendinginan celup air, oli atau larutan polimer. (Bayu Adie Septianto, 2013)

2.12.6 Analisis Simulasi Uji Impak Baja Karbon Sedang (AISI 1045) dan Baja Karbon Tinggi (AISI 1045) dan baja Karbon Tinggi (AISI D2) Hasil Perlakuan Panas

Baja adalah sebuah senyawa antara besi (Fe) dan karbon (C), dimana sering juga ditambahkan unsur lain untuk mendapatkan sifat-sifat tertentu yang dikehendaki. Baja merupakan salah satu logam yang banyak digunakan dalam berbagai bidang, terutama dalam bidang industri permesinan dan konstruksi. Salah satu dari sekian banyak jenis baja adalah baja AISI 1045 dan baja AISI D2 yang tergolong dalam baja paduan karbon yang banyak digunakan sebagai bahan utama pada mesin seperti gear, batang penghubung piston dan terutama poros pada kendaraan bermotor dan industri. Uji impak merupakan salah satu metode yang digunakan untuk mengetahui kekuatan, kekerasan, serta keuletan material. Oleh karena itu uji impak banyak dipakai dalam bidang menguji sifat mekanik yang dimiliki oleh suatu material tersebut. (Majanasatra, 2013)

Temperatur panas yang diberikan untuk pengujian ini sebesar 400°C dan ditahan selama 1 jam pemanasan. setelah di beri perlakuan panas selama 1 jam dengan temperatur 400°C. saat pengujian berlangsung temperatur material akan di bedakan menjadi 3 variasi panas setelah proses *quenching* dengan menggunakan media air. 3 variasi panas tersebut yaitu :



1. 250°C : Kondisi material pada saat *Pearlite*
 2. 200°C : Kondisi material pada saat *Ferrite*
 3. 31.2°C: Kondisi material pada suhu ruangan.
- Diperoleh hasil pengujian yang dapat dilihat pada Tabel 2.9 dan 2.10.

Tabel 2. 9 Hasil Uji Impak AISI 1045

| Spesimen | Baja Karbon AISI 1045 | | |
|--|-----------------------|-------|--------|
| Temperatur | 250°C | 200°C | 13.2°C |
| Nilai Usaha (w) Joule | 66.46 | 55.11 | 15.62 |
| Nilai Impact Charpy (Joule/mm ²) | 0.83 | 0.68 | 0.19 |

Tabel 2. 10 Hasil Uji Impak AISI D2

| Spesimen | Baja Karbon AISI D2 | | |
|--|---------------------|-------|--------|
| Temperatur | 250°C | 200°C | 13.2°C |
| Nilai Usaha (w) Joule | 61.97 | 80.45 | 83.55 |
| Nilai Impact Charpy (Joule/mm ²) | 0.77 | 1.00 | 1.04 |

Dari hasil simulasi dengan beberapa variasi temperatur, hasil yang baik pada proses pembebanan adalah pada baja karbon AISI 1045 dan AISI D2 pada temperatur 0°C dengan dengan *heat treatment* 400°C di mana pengaruh terhadap perpatahan pada spesimen benda kerja maupun pengaruh pada struktur mikro material terjadi kegetasan sehingga membuat perpatahan lebih baik. Dari hasil pembebanan dengan variasi temperatur yang berbeda-beda dan pemanasan pada suhu yang sama di ketahui bahwa pengaruh tingkat *quenching* cukup tinggi pada kegetasan dan perpatahan atau kelelahan (*Fatigue*) terhadap material. (Majanasastra, 2013)

BAB II TINJAUAN PUSTAKA



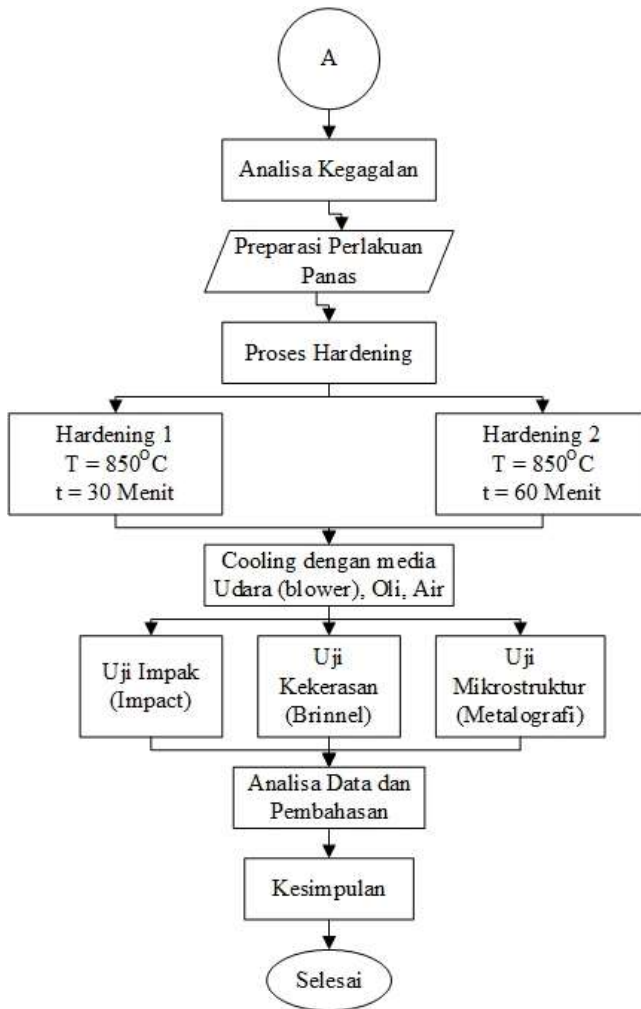
BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram Alir Penelitian

Pelaksanaan penelitian ini dilakukan beberapa pengujian seperti ditunjukkan dalam Gambar 3.1 dibawah ini





Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian



3.2 Metode Penelitian

Metode Penelitian yang digunakan dalam penelitian kali ini antara lain studi lapangan, pengujian dan studi literatur. Adapun hal-hal yang mencakup penelitian antara lain:

1. Studi lapangan

Metode ini mengacu pada pencarian informasi tentang komponen yang akan diteliti beserta informasi tentang kegagalan yang terjadi pada komponennya dengan cara terjun langsung ke lapangan yaitu PT. Semen Indonesia, dan berdiskusi dengan dosen mata kuliah, dosen pembimbing, dan pihak PT. Semen Indonesia yang ahli dibidangnya.

2. Studi Literatur

Metode studi literatur mengacu pada buku-buku, jurnal-jurnal penelitian, dan situs industri yang mempelajari tentang permasalahan analisa kegagalan khususnya keausan pada *Hammer Crusher*.

3. Pengujian

Metode ini dilakukan dengan pengujian langsung sesuai dengan prosedur dan metode yang ada. Adapun pengujian yang diperlukan dalam eksperimen ini yaitu : melihat record dari hammer crusher yang ada pada PT. Semen Indonesia (Persero) Tbk, pengamatan makro dengan menggunakan kamera DSLR, uji komposisi dengan menggunakan spektrometer, uji kekerasan untuk mengetahui nilai kekerasan pada material *Hammer Crusher* dan uji *impact* untuk mengetahui kekuatan dan ketangguhan pada material *Hammer Crusher*.

3.3 Material yang Digunakan

1. Material

Pada tanggal 21 Juli 2016 ditemukan *Hammer Crusher* pada *Clinker Cooler* Pabrik Tuban 3 mengalami keausan yang diperlihatkan pada Gambar 3.2.



Gambar 3. 2 a.) Komponen *Hammer Crusher* yang aus. b.) Bagian *Hammer Crusher* yang masih utuh.

Material yang digunakan oleh PT. Semen Indonesia (Persero) Tbk merupakan material *hammer crusher* yang memiliki komposisi kimia seperti yang ditunjukkan oleh Tabel 3.1.

Tabel 3. 1 Komposisi Kimia *Hammer Crusher*

| Unsur | C | Si | Mn | P | S | Cu | Ni | Cr | Mo | Al |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| % | 0.596 | 0.373 | 0.775 | 0.019 | 0.006 | 0.037 | 0.399 | 1.914 | 0.229 | 0.055 |

3.4 Peralatan

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain:

1. Penggaris
Digunakan untuk mengukur spesimen.
2. Mesin *Wire Cut*
Digunakan untuk memotong spesimen.



Gambar 3. 3 Mesin Wire Cut

3. Kamera Digital
Digunakan untuk mendapatkan informasi kegagalan secara makro.
4. Mesin OES (*Optical Emission Spectroscopy*)
Digunakan untuk mengetahui komposisi material uji



Gambar 3. 4 Mesin OES



5. Uji Kekerasan
Digunakan untuk mengetahui nilai kekerasan dari material uji.



Gambar 3. 5 *Universal Hardness Tester*

6. Uji Impak
Digunakan untuk mengetahui nilai beban kejut dari material uji.



Gambar 3. 6 *Impact Machine*



7. Amplas SiC grade 80 hingga 2000
Digunakan untuk preparasi pengujian mikroskop optik.
8. Mesin Polish
Digunakan untuk preparasi pengujian mikroskop optik.
9. Larutan Etsa 74a
Digunakan untuk preparasi pengujian metalografi.
 - 74a terdiri dari 1-5 mL HNO_3 + 100 mL *ethanol* (95%) atau *methanol* (95%).
10. Mikroskop Optik
Digunakan untuk mendapatkan informasi struktur mikro/fasa yang terdapat pada material uji.



Gambar 3. 7 *Olympus BX51 Optical Microscope*



3.5 Tahapan Penelitian

3.5.1 Review Dokumen Perusahaan

Review dokumen perusahaan dilakukan untuk mendapatkan data data perusahaan yang berkaitan dengan *Hammer Crusher* sebagai pendukung hasil penelitian, berikut data yang harus diambil, yaitu:

1. Desain *Hammer Crusher*
2. Data operasi
3. Spesifikasi material
4. *Maintenance record*

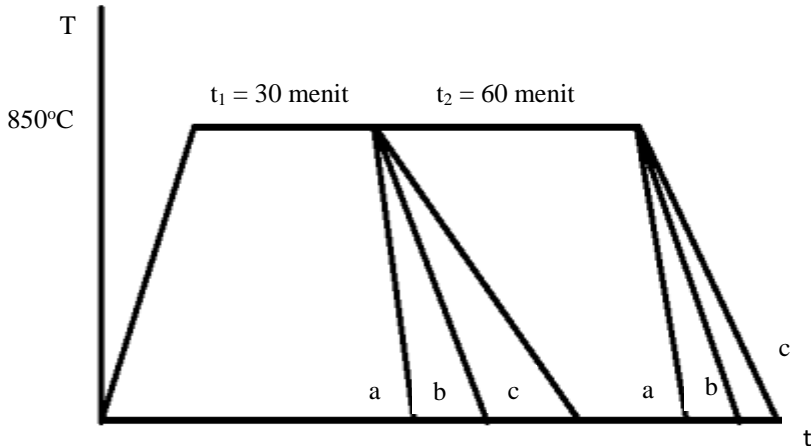
3.5.2 Preparasi Spesimen

Tahap Persiapan ini diperlukan sebelum melakukan pengujian untuk menentukan penyebab kegagalan/keausan *Hammer Crusher* pada PT Semen Indonesia. Persiapan ini berupa proses *cutting*, identifikasi *OES* material dan *normalizing*.

Proses preparasi dilakukan pada bagian ujung *Hammer Crusher* yang terindikasi adanya kegagalan. Spesimen terindikasi adanya beban siklik serta bagian yang jauh dari aus akan diuji sebagai perbandingan antara material yang baru dengan material yang sudah gagal.

3.5.3 Proses Perlakuan Panas

Perlakuan panas yang dilakukan adalah dengan proses *hardening*, material dipanaskan hingga temperatur 830°C kemudian di tahan dengan waktu tahan yang berbeda – beda antara lain $t_1=30$ menit dan $t_2=60$ menit kemudian di dinginkan dengan media pendingin (c) udara, (a) air, dan (b) oli pada tiap masing – masing variabel waktu tahan yang berbeda – beda. Gambar 3.8 menunjukkan perlakuan panas pada penelitian ini.



Gambar 3. 8 Proses *hardening* dengan variasi waktu tahan dan media pendingin

3.5.4 Uji Komposisi

Pengujian komposisi kimia adalah untuk mengetahui komposisi kimia yang terdapat pada komponen yang mengalami kegagalan. Pada identifikasi komposisi kimia menggunakan alat *Optical Emission Spectroscopy (OES)* di Laboratorium Balai Riset Standarisasi Surabaya (Baristan) untuk mengetahui komposisi yang ada pada *Hammer Crusher*.

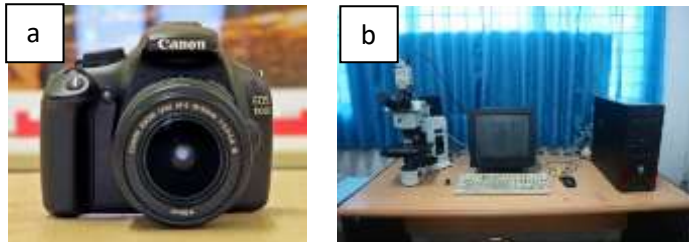
3.5.5 Pengamatan Makroskopik dan Mikroskopik

Pengamatan makro dilakukan untuk mengetahui bentuk, tampilan dan lokasi komponen yang mengalami kegagalan secara makro. Pengamatan makro dilakukan menggunakan kamera digital dan mikro dengan mikroskop optik.

Adapun perlakuan terhadap sampel material sebagai berikut:



1. Melakukan pengambilan fotografi dengan kamera digital pada Gambar 3.9a untuk mendapatkan informasi bentuk dari kegagalan secara makro.
2. Pengamatan melalui *optical microscope* seperti pada Gambar 3.9b terhadap sampel material dengan beberapa kali perbesaran untuk mendapatkan struktur mikronya.



Gambar 3. 9 (a) Kamera merk Nikon tipe SLR. (b) *Olympus Optical Microscope*

3.5.6 Uji Kekerasan

Pengujian kekerasan dilakukan untuk mengetahui distribusi kekerasan dengan melakukan indentasi di beberapa titik pada sampel material. Pengujian ini dilakukan dengan metode *Brinell* dimana dalam pengujiannya memakai indenter bola baja, pembebanan sebesar 187.5 kgf dan waktu indentasi selama 15 detik. Pengujian ini menggunakan *Universal Hardness Tester HBRV 187.5A* di Laboratorium Metalurgi, Jurusan Teknik Material dan Metalurgi, ITS yang terlihat pada Gambar 3.10.



Gambar 3. 10 *Universal Hardness Tester HBRV 187.5A*

Sebelumnya, sampel yang digunakan harus memiliki permukaan yang rata untuk meghindari cacat indentasi.

3.5.7 Uji Impak

Pengujian impact dilakukan untuk mengetahui kekuatan dengan memberikan beban kejut pada material uji. Pengujian ini dilakukan dengan metode *charpy* dimana pengujiannya memberikan beban kejut pada bagian yang berlawanan dengan takikan. Pengujian ini menggunakan metode *charpy* dengan mesin alat uji *impact* di Laboratorium Konstruksi dan Kekuatan Kapal, Jurusan Teknik Perkapalan, ITS yang dapat dilihat pada Gambar 3.11.



Gambar 3. 11 *Impact Testing*



3.6 Rancangan Penelitian

Tabel 3. 2 Rancangan penelitian

| Materi ial | Holding time (menit) | Media pendin gin | Penguj ian OES | Uji Imp act | Uji Metalogr afi | Uji Kekera san |
|--|----------------------------|------------------------|----------------------|-------------------|------------------------|----------------------|
| <i>Ham mer Crush er</i> | - | - | √ | √ | √ | √ |
| <i>Ham mer Crush er H1</i> | 30 | air | - | √ | √ | √ |
| <i>Ham mer Crush er H1</i> | 30 | oli | - | √ | √ | √ |
| <i>Ham mer Crush er H1</i> | 30 | udara | - | √ | √ | √ |
| <i>Ham mer Crush er H2</i> | 60 | air | - | √ | √ | √ |
| <i>Ham mer Crush er H2</i> | 60 | oli | - | √ | √ | √ |
| <i>Ham mer Crush er H2</i> | 60 | udara | - | √ | √ | √ |



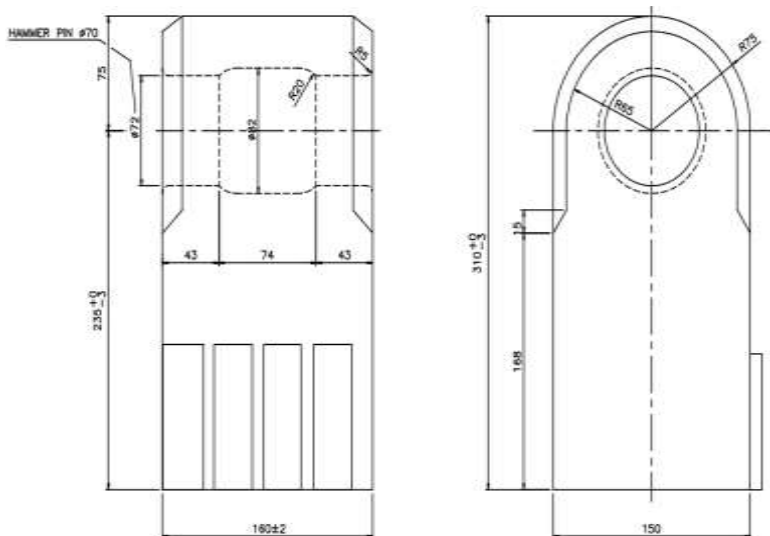
BAB IV ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN

4.1 Analisis Data Kegagalan Material

4.1.1 *Record Hammer Crusher di Clinker Cooler*

Pada bulan Juli 2016 PT. Semen Indonesia (Persero) Tbk sedang melaksanakan *maintenance* rutin (*overhaul*) yang berlangsung selama 2 minggu. Kemudian di *clinker cooler* Tuban 3 ditemukan sebuah kegagalan berupa *hammer crusher* yang merupakan komponen pada *clinker cooler* yang aus. Padahal menurut *engineer* di PT. Semen Indonesia (Persero) Tbk umur pakai komponen ini masih lama, yang seharusnya umur pakainya selama 2 tahun hanya mampu bertahan selama 8 bulan. *Hammer crusher* ini menggunakan material baja paduan dengan kadar krom lebih dari 1%.

Berikut ini data-data dari *hammer crusher* mencakup spesifikasi *hammer crusher* pada *clinker cooler*.



Gambar 4. 1 Desain *hammer crusher* di PT. Semen Indonesia

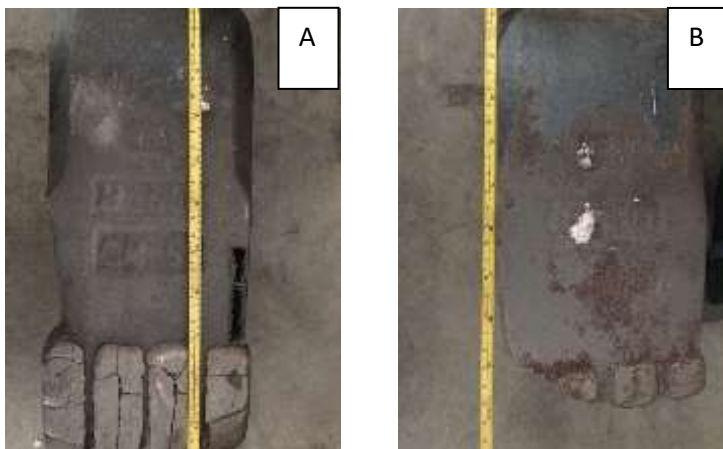


Tabel 4. 1 Spesifikasi Komponen *hammer crusher*

| Data Hammer Crusher | |
|----------------------------|-----------|
| Kecepatan Rotasi | 370 RPM |
| Temperatur Kerja | 100-250°C |
| <i>Linear Speed</i> | 19.36 m/s |
| <i>Lifetime</i> | 24 Months |

4.1.2 Pengamatan Hasil Makro *Hammer Crusher* yang Gagal

Berdasarkan hasil pengamatan visual secara makro menggunakan bantuan kamera DSLR pada daerah komponen *hammer crusher* yang mengalami keausan terlihat pada Gambar 4.2 terlihat keausan pada *hammer crusher* dan terlihat pengurangan dimensi dari *hammer crusher* yang awalnya seperti (A) dengan panjang 310 mm, menjadi (B) dengan panjang 247 mm.



Gambar 4. 2 Komponen *Hammer Crusher*: (A) Sebelum mengalami keausan; (B) Setelah mengalami keausan

4.1.3 Hasil Pengujian Komposisi Kimia *Hammer Crusher*

Uji Komposisi kimia menggunakan *OES (Optical Emission Spectroscopy)* pada komponen *hammer crusher*. Pengujian

BAB IV ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN



dilakukan untuk mengetahui komposisi pada spesimen *hammer crusher*. Hasil pengujian komposisi kimia ditunjukkan pada Tabel 4.2.

Tabel 4. 2 Hasil Komparasi Uji Komposisi
CHEMICAL COMPOSITION (WEIGHT%)

| UNSUR (%) | Material <i>Hammer Crusher</i> | AISI 8655 | ASTM A532 IIA | ASTM A532 IIB | ASTM A532 IIIA |
|--------------|---------------------------------------|----------------|---------------------|---------------------|----------------------|
| C | 0.59 | 0.51-0.59 | 2.0-3.3 | 2.0-3.3 | 2.0-3.3 |
| Si | 0.37 | 0.15-0.35 | 1.5max | 1.5max | 1.5max |
| Mn | 0.77 | 0.75-1.00 | 2.0max | 2.0max | 2.0max |
| P | 0.019 | 0.035max | 0.1max | 0.1max | 0.1max |
| S | 0.006 | 0.040max | 0.06max | 0.06max | 0.06max |
| Cr | 1.9 | 0.40-0.60 | 11.0- 14.0 | 14.0- 18.0 | 23.0- 30.0 |
| Cu | 0.037 | - | - | - | - |
| Al | 0.055 | - | - | - | - |
| Ni | 0.39 | 0.40-0.70 | 2.5max | 2.5max | 2.5max |
| Mo | 0.22 | 0.15-0.25 | 3.0max | 3.0max | 3.0max |
| Fe | <i>Balance</i> | <i>Balance</i> | <i>Balance</i> | <i>Balance</i> | <i>Balance</i> |

Tabel 4.2 menunjukkan komposisi kimia pada sampel uji dari *hammer crusher*. Berdasarkan hasil pengujian komposisi diatas, menunjukkan komposisi yang sesuai dengan Baja AISI 8655 dimana standar ini tidak sesuai dengan material standar untuk *hammer crusher* yang seharusnya. Komposisi untuk *hammer crusher* yang semestinya yaitu ASTM A532 dengan komposisi yang ditunjukkan pada Tabel 4.2 pada kolom ASTM A532 IIA, IIB, IIIA.

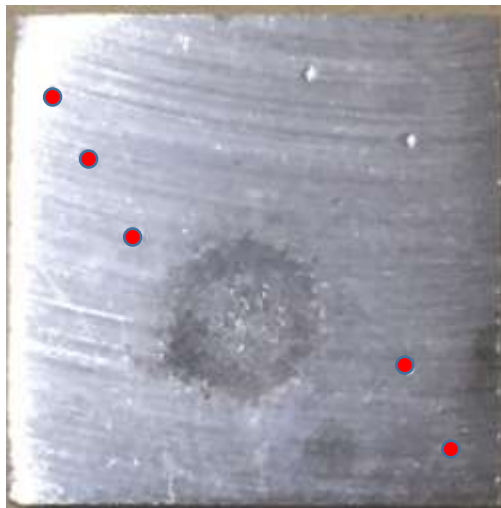
Tabel 4.2 yang menunjukkan perbandingan komposisi standar untuk *hammer crusher* yang seharusnya yaitu *class* IIA, IIB, dan IIIA dimana kadar karbonnya lebih dari 2% yang menandakan bahwa material tersebut besi cor dan kandungan *chromium* yang tinggi menyebabkan material jenis ini mudah



membentuk *martensite* sehingga disebut *martensitic white cast iron*. Oleh karena itu komposisi material *hammer crusher* yang ada di PT. Semen Indonesia ini tidak memenuhi standar dan cepat mengalami keausan karena kekerasan baja paduan lebih rendah di bandingkan dengan besi cor. (ASTM A532, 1999)

4.1.4 Hasil Pengujian Kekerasan *Brinnel* pada *Hammer Crusher* yang Gagal

Pengujian *hardness* ini digunakan untuk mengetahui distribusi kekerasan pada *hammer crusher* yang mengalami keausan. Pengujian ini menggunakan indentasi sebanyak 5 titik, indentasi dilakukan dengan beban sebesar 187.5 kgf. Pembagian daerah indentasi dapat dilihat pada Gambar 4.3



Gambar 4. 3 Pembagian daerah indentasi uji kekerasan *brinnel*

Pada Tabel 4.3 diperlihatkan nilai kekerasan yang didapatkan dari hasil uji kekerasan pada material *hammer crusher* yang aus. Kekerasan *hammer crusher* pada daerah yang jauh dari gigi diperoleh sebesar 243 BHN dan kekerasan pada daerah gigi dari *hammer crusher* diperoleh sebesar 276 BHN, sementara



kekerasan *hammer crusher* yang sesuai dengan standar ASTM A532 class IIA, IIB dan IIIA dapat dilihat pada Tabel 4.4 dimana nilai kekerasannya sangat jauh perbedaanya dari *hammer crusher* yang ada di PT. Semen Indonesia, kekerasan pada material ini diatas 450 BHN. (ASTM A532, 1999)

Tabel 4. 3 Data Hasil Pengujian Kekerasan

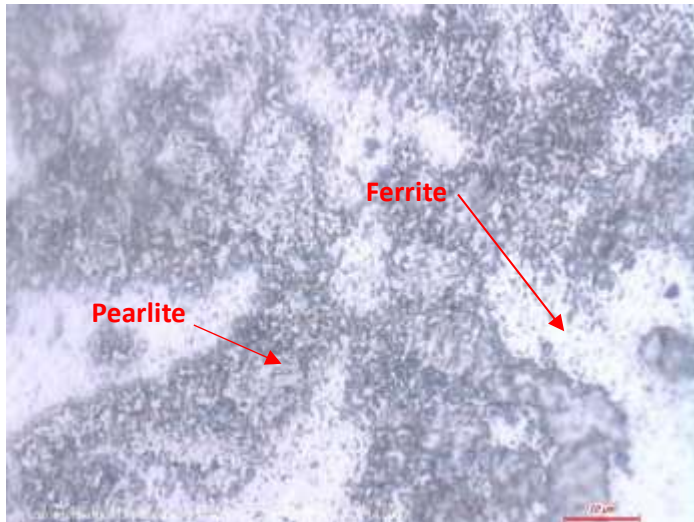
| Nama Spesimen | Kekerasan (BHN) |
|----------------------------|-----------------|
| AISI 8655 (Jauh dari Gigi) | 243±7 |
| AISI 8655 (Daerah Gigi) | 276±12 |

Tabel 4. 4 Nilai Kekerasan *Hammer Crusher* sesuai ASTM A532

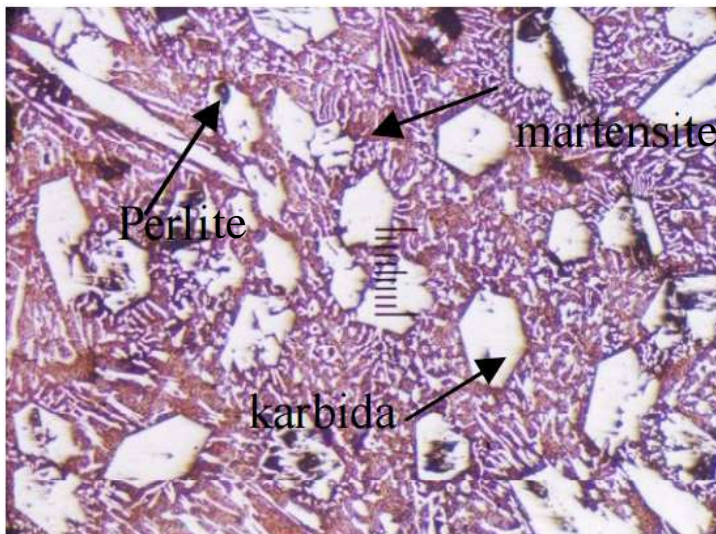
| Class | Type | Design | HB | HRC | HV |
|-------|------|-----------|-----|-----|-----|
| I | A | Ni-Cr-HiC | 550 | 53 | 600 |
| I | B | Ni-Cr-LoC | 550 | 53 | 600 |
| I | C | Ni-Cr-GB | 550 | 53 | 600 |
| I | D | Ni-HiCr | 500 | 50 | 540 |
| II | A | 12% Cr | 550 | 53 | 600 |
| II | B | 15% Cr-Mo | 450 | 46 | 485 |
| II | D | 20% Cr-Mo | 450 | 46 | 485 |
| III | A | 25% Cr | 450 | 46 | 485 |

4.1.5 Hasil Pengujian Metalografi pada *Hammer Crusher* yang Gagal

Pengujian struktur mikro dilakukan untuk mengetahui struktur awal yang terbentuk pada material *hammer crusher* sebelum dilakukan perlakuan panas dan struktur awal dimana material mengalami keausan. Pengamatan yang dilakukan dengan menggunakan mikroskop optik pada perbesaran 1000x. Struktur mikro pada baja AISI 8655 yang terlihat pada Gambar 4.4 ini akan dibandingkan dengan struktur mikro *martensitic white cast iron* yang merupakan standar dari *hammer crusher* pada umumnya yang ditunjukkan oleh Gambar 4.5.



Gambar 4. 4 Struktur Mikro Baja AISI 8655 yang mengalami keausan



Gambar 4. 5 Struktur Mikro *Martensitic White Cast Iron* ASTM A532 (Subardi, 2011)

BAB IV ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN



Gambar 4.4 menunjukkan struktur mikro dari *hammer crusher* yang gagal, berdasarkan pengamatan foto struktur mikro pada baja AISI 8655 diatas diperoleh fasa yaitu *ferrite* dan *pearlite*, dimana fasa tersebut ditunjukkan dengan warna putih adalah matriks *ferrite* yang merupakan unsur utama *hammer crusher*. Selain itu terdapat juga bagian yang berwarna hitam yaitu fasa *pearlite*. Hal ini sesuai dengan struktur mikro pada material *hypoeutectoid* yang memiliki kandungan karbon dibawah 0.8%. (Aisyah, 2011)

Pada Gambar 4.5 menunjukkan struktur mikro pada material standar komponen *hammer crusher* yaitu *martensitic white cast iron*. Pada gambar tersebut terlihat fasa karbida Cr yang berwarna putih berbentuk angular, *pearlite* yang berwarna hitam dan fasa *plate martensite*. (Subardi, 2011)

Dari dua gambar diatas dapat disimpulkan bahwa fasa yang terbentuk pada komponen *hammer crusher* yang gagal berupa *ferrite* dan *pearlite*, berbeda dengan fasa yang terbentuk pada komponen *hammer crusher* yang sesuai standar yang menunjukkan fasa *pearlite*, karbida Cr, dan *plate martensite*. Mengingat bahwa struktur *martensite* adalah yang sangat keras serta karbida yang menyebabkan material getas. (Subardi, 2011)

4.2 Hasil Proses *Hardening* Pada Material AISI 8655

Hasil analisis kegagalan menunjukkan bahwa spesifikasi material pada komponen *hammer crusher* milik PT. Semen Indonesia (Persero) Tbk tidak sesuai dengan standar ASTM A532 class IIA, IIB dan IIIA. Pada penelitian ini dilakukan upaya *hardening* untuk memperbaiki sifat kekerasasn dari komponen tersebut agar mendekati standar yang seharusnya. *Hardening* dilakukan pada temperatur 850°C dengan waktu tahan 30 dan 60 menit menggunakan media pendingin udara, oli dan air yang dapat dilihat pada Tabel 4.5.



Tabel 4. 5 Kode Spesimen dan Jenis *Hardening* pada AISI 8655

| Kode Spesimen | Jenis <i>Hardening</i> |
|-------------------|--|
| AISI 8655 | Baja AISI 8655 komponen <i>Hammer Crusher</i> |
| AISI 8655 HT30-AQ | AISI 8655 dengan Pemanasan temperatur 850°C + <i>Holding Time</i> 30 min + <i>Air Quench</i> |
| AISI 8655 HT30-OQ | AISI 8655 dengan Pemanasan temperatur 850°C + <i>Holding Time</i> 30 min + <i>Oil Quench</i> |
| AISI 8655 HT30-WQ | AISI 8655 dengan Pemanasan temperatur 850°C + <i>Holding Time</i> 30 min + <i>Water Quench</i> |
| AISI 8655 HT60-AQ | AISI 8655 dengan Pemanasan temperatur 850°C + <i>Holding Time</i> 60 min + <i>Air Quench</i> |
| AISI 8655 HT60-OQ | AISI 8655 dengan Pemanasan temperatur 850°C + <i>Holding Time</i> 60 min + <i>Oil Quench</i> |
| AISI 8655 HT60-WQ | AISI 8655 dengan Pemanasan temperatur 850°C + <i>Holding Time</i> 60 min + <i>Water Quench</i> |

4.2.1 Hasil Pengujian Metalografi Setelah di *Hardening*

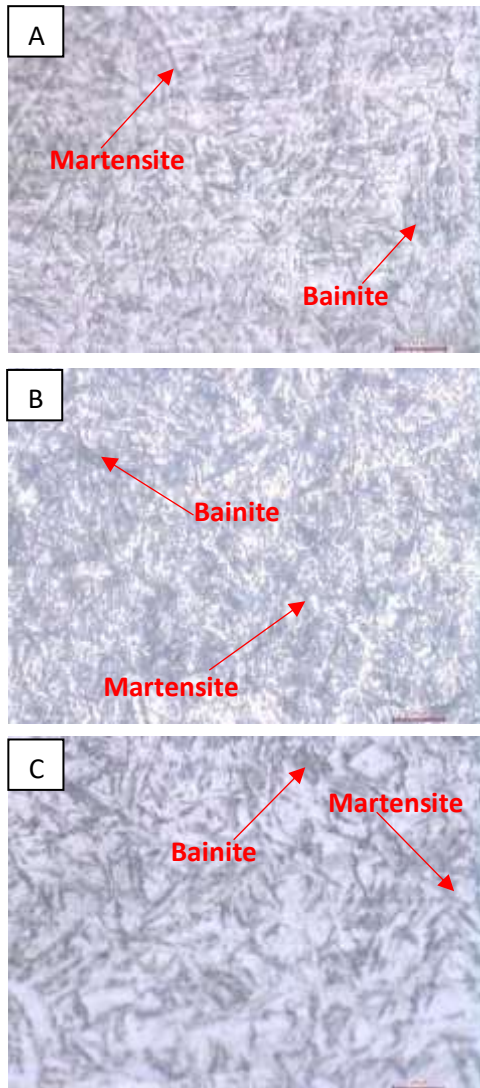
Pengujian struktur mikro dilakukan untuk mengetahui struktur akhir yang terbentuk pada material *hammer crusher* setelah dilakukan perlakuan panas dengan variasi pada waktu tahan dan media pendingin. Pengamatan yang dilakukan yaitu dengan menggunakan mikroskop optik pada perbesaran 1000x.

Gambar 4.6 menunjukkan struktur mikro hasil proses *hardening* AISI 8655. Gambar 4.6 (A) menunjukkan struktur mikro hasil proses *hardening* pada temperatur 850°C material AISI 8655 HT30-AQ. Material ini adalah material yang mengalami pemanasan pada temperatur 850°C selama 30 menit lalu didinginkan dengan media udara (*Air Quench*). Fasa yang

BAB IV ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN



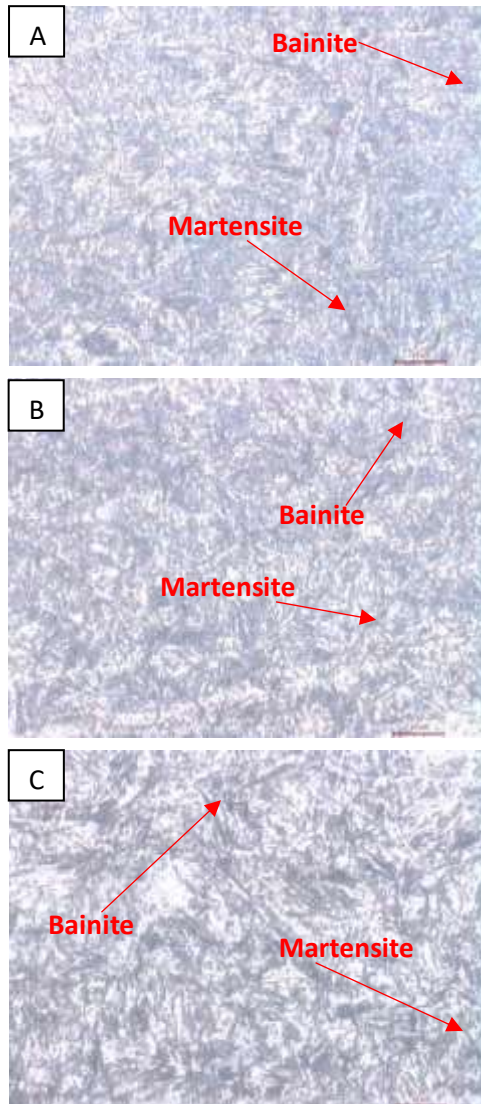
terbentuk pada spesimen ini yaitu *acicular bainite* (Bainite Bilah) yang lebih banyak dan *lath martensite*. *Acicular bainite* ditunjukkan dengan jarum – jarum yang berkumpul dan sedikit lebih lebar sehingga berbeda dengan *martensite* yang sangat tipis seperti jarum – jarum (Suherman, 2011) dan *lath martensite* ditunjukkan dengan warna hitam yang berbentuk seperti bilah (Yogantoro, 2010). *Lath martensite* yang terbentuk pada Gambar 4.6 (A) memiliki bentuk jarum yang pendek-pendek. Sedangkan Gambar 4.6 (B) menunjukkan struktur mikro hasil proses *hardening* pada temperatur 850°C material AISI 8655 HT30-OQ. Material ini adalah material yang mengalami pemanasan pada temperatur 850°C selama 30 menit lalu didinginkan dengan media oli (*Oil Quench*). Fasa yang terbentuk pada spesimen ini yaitu *acicular bainite* yang lebih sedikit dibanding Gambar 4.6 (A) dan *lath martensite* yang bentuknya lebih panjang dan *continous*. *Acicular bainite* ditunjukkan dengan jarum – jarum yang berkumpul dan sedikit lebih lebar sehingga berbeda dengan *martensite* yang sangat tipis seperti jarum – jarum (Suherman, 2011) dan *lath martensite* ditunjukkan dengan warna hitam yang berbentuk seperti bilah. (Yogantoro, 2010). Gambar 4.6 (C) menunjukkan struktur mikro hasil proses pengerasan pada temperatur 850°C material AISI 8655 HT30-WQ. Material ini adalah material yang mengalami pemanasan pada temperatur 850°C selama 30 menit lalu didinginkan dengan media air (*Water Quench*). Fasa yang terbentuk pada spesimen ini yaitu *acicular bainite* yang sangat sedikit daripada Gambar 4.6 (A) dan 4.6 (B) serta *lath martensite* yang terlihat lebih tegang, panjang dan *continuous* pada Gambar 4.6 (C). *Acicular bainite* ditunjukkan dengan jarum – jarum yang berkumpul dan sedikit lebih lebar sehingga berbeda dengan *martensite* yang sangat tipis seperti jarum – jarum (Suherman, 2011) dan *lath martensite* ditunjukkan dengan warna hitam yang berbentuk seperti bilah. (Yogantoro, 2010)



Gambar 4. 6 Foto mikrograf baja AISI 8655 : (A) AISI 8655 HT30-AQ, (B) AISI 8655 HT30-OQ, (C) AISI 8655 HT30-WQ



Gambar 4.7 menunjukkan struktur mikro hasil proses pengerasan AISI 8655. Gambar 4.7 (A) menunjukkan struktur mikro hasil proses pengerasan pada temperatur 850°C material AISI 8655 HT60-AQ. Material ini adalah material yang mengalami pemanasan pada temperatur 850°C selama 60 menit lalu didinginkan dengan media udara. Fasa yang terbentuk pada spesimen ini yaitu *acicular bainite* yang banyak dan *lath martensite*. *Acicular bainite* ditunjukkan dengan jarum – jarum yang berkumpul dan sedikit lebih lebar sehingga berbeda dengan *martensite* yang sangat tipis seperti jarum – jarum (Suherman, 2011) dan *lath martensite* ditunjukkan dengan warna hitam yang berbentuk seperti bilah (Yogantoro, 2010). Sedangkan Gambar 4.7 (B) menunjukkan struktur mikro hasil proses pengerasan pada temperatur 850°C material AISI 8655 HT60-OQ. Material ini adalah material yang mengalami pemanasan pada temperatur 850°C selama 60 menit lalu didinginkan dengan media oli. Fasa yang terbentuk pada spesimen ini yaitu *acicular bainite* yang lebih sedikit dibanding Gambar 4.7 (A) dan *lath martensite* yang lebih panjang dan terlihat *continous*. *Acicular bainite* ditunjukkan dengan jarum – jarum yang berkumpul dan sedikit lebih lebar sehingga berbeda dengan *martensite* yang sangat tipis seperti jarum – jarum (Suherman, 2011) dan *lath martensite* ditunjukkan dengan warna hitam yang berbentuk seperti bilah (Yogantoro, 2010). Gambar 4.7 (C) menunjukkan struktur mikro hasil proses pengerasan pada temperatur 850°C material AISI 8655 HT30-WQ. Material ini adalah material yang mengalami pemanasan pada temperatur 850°C selama 60 menit lalu didinginkan dengan media oli. Fasa yang terbentuk pada spesimen ini yaitu *acicular bainite* yang sangat sedikit daripada Gambar 4.7 (A) dan 4.7 (B) serta *lath martensite* yang terlihat lebih renggang dan panjang – panjang atau *continous*. *Acicular bainite* ditunjukkan dengan jarum – jarum yang berkumpul dan sedikit lebih lebar sehingga berbeda dengan *martensite* yang sangat tipis seperti jarum – jarum (Suherman, 2011) dan *lath martensite* ditunjukkan dengan warna hitam yang berbentuk seperti bilah (Yogantoro, 2010).



Gambar 4. 7 Foto mikrograf baja AISI 8655 : (A) AISI 8655 HT60-AQ, (B) AISI 8655 HT60-OQ, (C) AISI 8655 HT60-WQ

BAB IV ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN

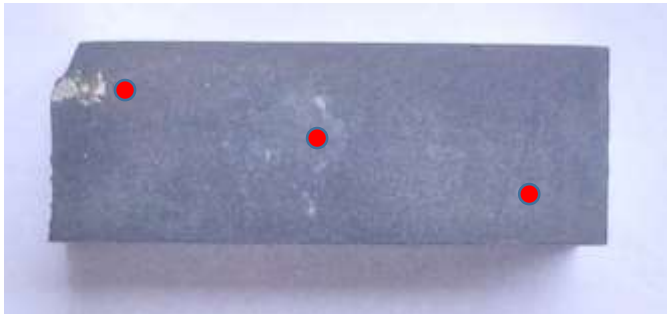


Acicular bainite yang merupakan agregat dari *ferrite* dan *cementite* (Fe_3C) terbentuk pada kecepatan pendinginan sedang dimana pada kondisi ini karbon sulit berdifusi kedalam fasa *austenite* (Aisyah, 2011). Sedangkan *lath martensite* (martensit bilah) terbentuk pada material dengan kadar karbon sampai 0.6%. Semakin encer media pendingin yang digunakan maka *martensite* yang terbentuk lebih terlihat tegang dan panjang – panjang atau *continous* (Yogantoro, 2010).

Dari Gambar 4.6 dan 4.7 dapat disimpulkan bahwa dengan menggunakan media pendingin air maka *acicular bainite* yang terbentuk akan semakin sedikit. Hal ini terjadi karena perbedaan pada media pendingin pada tiap-tiap spesimen uji. *Martensite* yang terbentuk pada pendinginan air terlihat lebih tegang dan lebih panjang atau *continous* daripada *quench* menggunakan media yang lain. (Bayu Adie Septianto, 2013)

4.2.2 Hasil Pengujian Kekerasan *Hammer Crusher* Setelah di *Hardening*

Pengujian Kekerasan dilakukan pada permukaan spesimen pada spesimen *as cast*, dan spesimen pada setiap variasi media pendingin. Pengujian ini menggunakan indentasi sebanyak 3 titik, indentasi dilakukan secara *cross-sectional* dengan beban sebesar 187.5 kgf menggunakan indenter *brinell*. Pembagian daerah indentasi dapat dilihat pada Gambar 4.8.



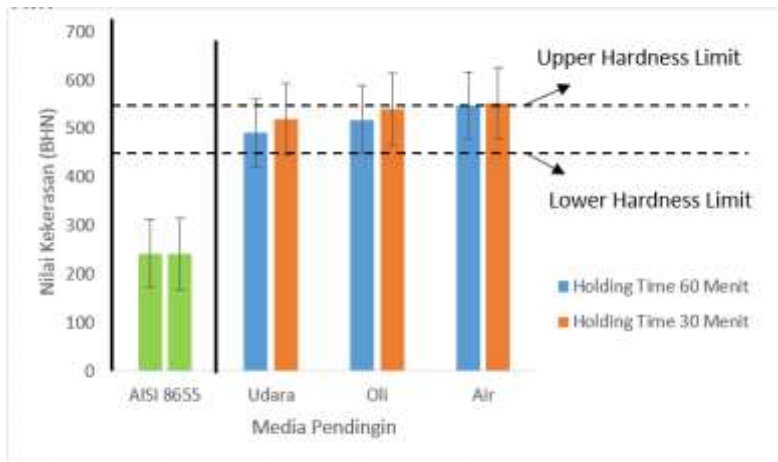
Gambar 4. 8 Titik Indentasi Uji *Hardness*



Hasil Pengujian Kekerasan dapat dilihat pada Tabel 4.6, serta grafik distribusi kekerasan yang ditunjukkan pada Gambar 4.9.

Tabel 4. 6 Hasil Pengujian Kekerasan pada AISI 8655 yang telah di *hardening*

| Nama Spesimen | Kekerasan (BHN) |
|-------------------|-----------------|
| AISI 8655 | 243±7 |
| AISI 8655 HT60-AQ | 491±23 |
| AISI 8655 HT60-OQ | 518±25 |
| AISI 8655 HT60-WQ | 548±13 |
| AISI 8655 HT30-AQ | 520±9 |
| AISI 8655 HT30-OQ | 540±13 |
| AISI 8655 HT30-WQ | 552±11 |



Gambar 4. 9 Grafik nilai kekerasan hasil proses pengerasan baja AISI 8655

Dari Gambar grafik 4.9 didapatkan hasil uji kekerasan pada permukaan setiap sampel uji setelah di *hardening*. Spesimen uji AISI 8655 tanpa perlakuan (*As cast*) memiliki kekerasan 243 BHN

BAB IV ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN



pada daerah yang jauh dari gigi dan 276 BHN pada daerah gigi dari *hammer crusher*. Spesimen uji AISI 8655 HT60-AQ memiliki kekerasan paling rendah yaitu 491 BHN dengan komposisi 53% *lath martensite* dan 47% *acicular bainite*, spesimen AISI 8655 HT60-OQ memiliki kekerasan 518 BHN dengan komposisi 63% *lath martensite* dan 37% *acicular bainite*, dan untuk spesimen AISI 8655 HT60-WQ memiliki kekerasan 548 BHN dengan komposisi 76% *lath martensite* dan 24% *acicular bainite*..

Spesimen uji AISI 8655 HT30-AQ memiliki kekerasan 520 BHN dengan komposisi 64% *lath martensite* dan 36% *acicular bainite*, spesimen AISI 8655 HT30-OQ memiliki kekerasan 540 BHN dengan komposisi 73% *lath martensite* dan 27% *acicular bainite*, dan untuk spesimen AISI 8655 HT30-WQ memiliki kekerasan 552 BHN dengan komposisi 78% *lath martensite* dan 22% *acicular bainite*. Keenam spesimen diatas memiliki kekerasan yang berbeda karena memiliki waktu tahan yang berbeda serta laju pendinginan yang dihasilkan juga berbeda. Kekerasan tertinggi diperoleh pada spesimen yang menggunakan air sebagai media pendinginnya. (Bayu Adie Septianto, 2013)

Setelah diberi proses pengerasan, kekerasan pada spesimen ini bertambah dan mendekati standar dari kekerasan *hammer crusher* yang seharusnya yaitu sekitar 450-550 BHN yang dapat dilihat pada *upper hardness limit* dan *lower hardness limit* pada Gambar 4.9 atau pada Tabel 4.5. Nilai kekerasan yang bervariasi ini juga dipengaruhi oleh waktu tahan yang berbeda pada 30 menit dan 60 menit, hal ini terjadi karena homogenitas dari fasa *austenite* dan difusi karbon yang terjadi selama proses perlakuan panas pada temperatur austenitisasi, sehingga untuk waktu tahan 60 menit akan mengalami homogenitas yang lebih baik daripada waktu tahan 30 menit, serta dengan waktu tahan yang terlalu lama juga akan menyebabkan karbon yang berdifusi sangat banyak sehingga dapat menurunkan kekerasannya. Baja konstruksi atau baja paduan menengah memiliki *holding time* sekitar 15-20 menit, oleh karena itu jika *holding time* terlalu lama maka akan menurunkan



kekerasannya. (Ihsan Gata Bangsawan, 2011) (Yogantoro, 2010) (Efdianus, 2012)

4.2.3 Hasil Pengujian Impak *Hammer Crusher* Setelah di *Hardening*

Kekuatan impak merupakan ketahanan suatu material terhadap beban pukulan atau beban kejut (*impact*) dinyatakan dengan besar energi yang diperlukan untuk mematahkan spesimen uji. Energi impak memberi suatu indikasi yang baik pada energi yang diperlukan untuk inisiasi dan penjalaran suatu retak. Metode pengujian impak yang digunakan adalah *Charpy V-notch* (CVN). Tabel 4.7 menunjukkan nilai hasil pengujian impak pada spesimen uji yang telah di *hardening*.

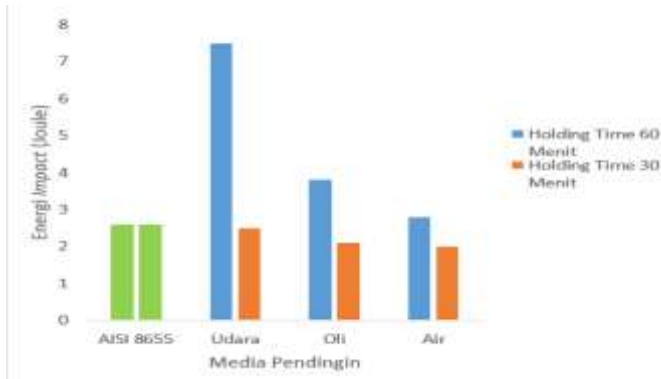
Tabel 4. 7 Nilai Energi impak pada spesimen uji setelah di *hardening*

| Nama Spesimen | Energi <i>Impact</i> (Joule) |
|-------------------|------------------------------|
| AISI 8655 | 2,6 |
| AISI 8655 HT60-AQ | 7,5 |
| AISI 8655 HT60-OQ | 3,8 |
| AISI 8655 HT60-WQ | 2,8 |
| AISI 8655 HT30-AQ | 2,5 |
| AISI 8655 HT30-OQ | 2,1 |
| AISI 8655 HT30-WQ | 2 |

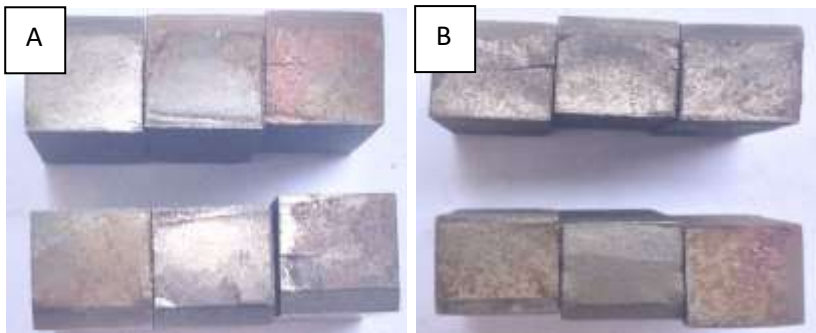
Pada Gambar 4.10 ditunjukkan hubungan perlakuan spesimen baja AISI 8655 yang telah diberi proses pengerasan terhadap energi impak, dimana sebelum di uji material di rendam dalam air mendidih pada temperatur 100°C. Baja AISI 8655 yang tidak di beri perlakuan sama sekali memiliki energi impak sebesar 2,6 Joule. Spesimen uji AISI 8655 HT30-WQ memiliki energi impak sebesar 2 Joule, spesimen AISI 8655 HT60-OQ memiliki energi impak sebesar 2,1 Joule dan untuk spesimen AISI 8655 HT30-AQ memiliki energi impak sebesar 2,5 Joule.



Sedangkan untuk spesimen AISI 8655 HT60-WQ memiliki energi impact sebesar 2,8 Joule, spesimen AISI 8655 HT60-OQ memiliki energi impact sebesar 3,8 Joule dan untuk spesimen AISI 8655 HT60-AQ memiliki energi impact sebesar 7,5 Joule. Pola patahan yang terjadi pada semua spesimen ini adalah pola patahan getas seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 4.11.



Gambar 4. 10 Grafik Pengaruh Kondisi *Hardening* dan Variasi Media Pendingin terhadap Energi Impact



Gambar 4. 11 Pola Patahan Getas hasil Uji *impact* : (A) waktu tahan 30 menit, (B) waktu tahan 60 menit



Pada Gambar grafik 4.10 ditunjukkan bahwa nilai ketangguhan akan semakin meningkat jika menggunakan media pendingin udara dan waktu tahan yang diberikan semakin lama. Perbedaan laju pendinginan pada spesimen mengakibatkan kekerasan yang berbeda – beda, semakin rendah viskositas media pendingin maka kekerasan yang terbentuk akan semakin besar dan ketangguhannya akan semakin menurun (Bayu Adie Septianto, 2013). Hasil Uji *impact* dengan pemanasan pada suhu yang sama di ketahui bahwa pengaruh tingkat *quenching* cukup tinggi pada kegetasan material. (Majanasastra, 2013)

4.3 Pembahasan

Berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan selama penelitian ini, faktor-faktor penyebab kegagalan dapat dibagi menjadi beberapa faktor, yaitu komposisi material yang tidak sesuai, dan kekerasan material yang nilainya lebih rendah dari kekerasan material standar *hammer crusher*. (Brooks, 2002)

Material standar untuk *hammer crusher* seharusnya memiliki komposisi seperti *martensitic white cast iron* yang mempunyai sifat ketahanan aus yang tinggi serta kekerasan yang tinggi pula yang sesuai dengan ASTM A532 class IIA, IIB dan IIIA. Sedangkan material *hammer crusher* yang digunakan oleh PT. Semen Indonesia (Persero) Tbk setelah di uji komposisi hasilnya tidak sama dengan komposisi pada ASTM A532 class IIA, IIB dan IIIA akan tetapi memiliki komposisi yang sama dengan baja AISI 8655 yang memiliki kekerasan lebih rendah daripada *martensitic white cast iron*. Jika dilihat dari segi komposisi yang berbeda seperti unsur C, Mo, Ni, Cr pada standar *hammer crusher* yang seharusnya memiliki sifat *hardenability* yang baik dan kadar C yang memiliki kekerasan yang tinggi. Sehingga material yang digunakan oleh PT. Semen Indonesia (Persero) Tbk cepat sekali mengalami keausan dari *lifetime* yang seharusnya 2 tahun hanya bertahan selama 8 bulan saja jika ditinjau dari komposisi unsur yang jauh sekali dari standar ASTM A532. (ASTM A532, 1999)



Pada pengamatan hasil struktur mikro diketahui bahwa struktur awal yang terbentuk ketika spesimen belum diberi perlakuan menunjukkan fasa *ferrite* dan *pearlite* yang merupakan struktur dari baja *hypoeutectoid* (Avner, 1974). Sedangkan struktur mikro pada *hammer crusher* yang sesuai standar menunjukkan fasa *Pearlite*, karbida Cr, dan *Plate Martensite* (Subardi, 2011). Karbida dapat menyebabkan material getas, dan fasa *Plate Martensite* dapat membuat material tersebut keras. Dari segi fasa yang terbentuk pada material yang digunakan oleh PT. Semen Indonesia (Persero) Tbk sangat jauh berbeda dari fasa yang seharusnya terbentuk pada material standar *hammer crusher*.

Setelah diberi perlakuan panas dan di *quenched* dengan media pendingin yang berbeda-beda, diperoleh struktur mikro berupa fasa *acicular bainite* dan *lath martensite*. Untuk material yang paling keras adalah spesimen AISI 8655 HT30-WQ dan AISI 8655 HT60-WQ karena struktur mikro yang terbentuk yaitu *lath martensite* yang terlihat lebih tegang dan panjang – panjang atau *continuous*. Hal ini terjadi karena perbedaan pada media pendingin pada tiap-tiap spesimen uji (Bayu Adie Septianto, 2013). *Acicular bainite* yang merupakan agregat dari *ferrite* dan *cementite* (Fe_3C) terbentuk pada kecepatan pendinginan sedang dimana pada kondisi ini karbon sulit berdifusi kedalam fasa *austenite* (Aisyah, 2011). Sedangkan *lath martensite* (martensit bilah) terbentuk pada material dengan kadar karbon sampai 0.6%. *Quenching* dengan menggunakan media pendingin air dapat membentuk fasa *lath martensite* yang terlihat lebih tegang serta panjang – panjang atau *continuous* (Yogantoro, 2010).

Dari segi kekerasannya, setelah dilakukan proses perlakuan panas dengan variasi waktu tahan pada 30 menit dan 60 menit, serta variasi media pendingin menggunakan udara, oli, dan air diperoleh nilai dari uji kekerasan pada spesimen baja AISI 8655 tanpa perlakuan yang kekerasannya 243 BHN pada daerah yang jauh dari gigi *hammer crusher* dan 276 BHN pada daerah gigi *hammer crusher* menjadi 450-550 BHN. Diperoleh kekerasan yang paling tinggi yaitu spesimen AISI 8655 HT30-WQ yang memiliki



kekerasan sebesar 552 BHN dan AISI 8655 HT60-WQ sebesar 548 BHN. Setelah dilakukan proses *hardening* nilai kekerasan pada material uji masuk dalam *range* nilai kekerasan pada material standar *hammer crusher* menurut ASTM A532. Hal ini terjadi karena pendinginan non-ekuilibrium atau pendinginan sangat cepat dapat meningkatkan nilai kekerasan suatu material dan kekerasan tertinggi diperoleh pada spesimen yang menggunakan air sebagai media pendinginnya. (Bayu Adie Septianto, 2013). Pengaruh waktu tahan saat proses *hardening* juga dapat mempengaruhi kekerasan pada suatu material karena semakin lama waktu tahannya maka homogenitas yang terjadi pada fasa *austenite* menjadi lebih baik dan juga menyebabkan difusi karbon sehingga kekerasannya dapat turun jika waktu tahannya terlalu lama. Baja konstruksi atau baja paduan menengah memiliki *holding time* sekitar 15-20 menit, oleh karena itu jika *holding time* terlalu lama maka akan menurunkan kekerasannya. *Quenching* dengan media pendingin air membuat material menjadi lebih keras daripada *quenching* menggunakan media pendingin oli dan udara (Ihsan Gata Bangsawan, 2011) (Yogantoro, 2010) (Efdianus, 2012)

Hasil uji impak yang dilakukan dengan menggunakan metode *charpy V-notch* (CVN) didapatkan bahwa material AISI 8655 tanpa perlakuan memiliki ketangguhan sebesar 2.6 Joule dan memiliki pola patahan yang getas. Setelah dilakukan perlakuan panas diperoleh nilai ketangguhan paling sebesar pada spesimen AISI 8655 HT30-WQ sebesar 2 Joule. Hal ini menunjukkan bahwa material ini sangat getas dan memiliki kekerasan yang tinggi sehingga ketangguhannya kecil. Sedangkan untuk spesimen AISI 8655 HT60-AQ memiliki ketangguhan paling besar dari seluruh spesimen uji sebesar 7.5 Joule dan pola patahan getas. Kekerasan pada suatu material dapat mempengaruhi ketangguhan material tersebut, semakin keras material tersebut maka ketangguhannya akan semakin menurun. (Bayu Adie Septianto, 2013)

Terjadinya keausan pada *hammer crusher* ini dapat di akibatkan karena ketidak sesuaian pemilihan material sebagai bahan utamanya, serta kinerja dari *hammer crusher* sendiri.

BAB IV ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN



Hammer crusher akan berhantaman dengan *clinker* yang digiring dari *rotary kiln* menuju *hammer* dengan menggunakan *crossbar*. Temperatur dari *clinker* berkisar 100-250°C ketika sampai pada *hammer crusher*. Kemudian *hammer* akan menghantam *clinker* dan terjadi gesekan antara permukaan *hammer* dengan *clinker* sehingga membuat *clinker* menjadi ukuran yang lebih kecil dari semula. Oleh karena itu *hammer* ini akan mengalami keausan pada bagian tengahnya jika dilihat dari kinerja *hammer* yang seperti itu pada PT. Semen Indonesia (Persero) Tbk.



(Halaman Ini Sengaja Dikosongkan)



BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan serangkaian percobaan yang telah dilakukan ada beberapa kesimpulan mengenai keausan *hammer crusher* pada *clinker cooler* antara lain sebagai berikut :

1. Faktor yang menyebabkan terjadinya keausan komponen *hammer crusher* pada *clinker cooler* yaitu komposisi material yang tidak sesuai, dan kekerasan material yang nilainya lebih rendah dari kekerasan material standar *hammer crusher*.
2. Mekanisme kegagalan komponen *hammer crusher* ini terjadinya dikarenakan *hammer crusher* bertumbukan dengan *clinker* sehingga terjadi gesekan pada permukaan *hammer crusher*. Karena kekerasan *hammer crusher* sangat rendah maka komponen tersebut mudah aus.
3. Proses *hardening* pada material *hammer crusher* yang sesuai adalah dengan cara pemanasan pada temperatur 850°C dengan waktu tahan selama 60 menit dan menggunakan media pendingin berupa udara. Jenis perlakuan ini dipilih berdasarkan ketangguhan yang paling tinggi.

5.2 Saran

1. Melakukan pengujian komposisi, kekerasan dan metalografi terlebih dahulu sebelum menggunakan *hammer crusher* yang dibeli.
2. Melakukan proses *heat treatment* pada komponen *hammer crusher* sebelum dipasang pada *clinker cooler* agar meningkatkan kekerasan pada *hammer crusher*.



3. Menggunakan produk lain yang sesuai dengan standar *hammer crusher* dan yang lebih murah serta efisien dalam penggunaannya.

DAFTAR PUSTAKA

- 1999. *ASTM A532 Standard Specification for Abrasion-Resistant Cast Irons*. USA: ASM International.
- 2002. *ASM Handbook Vol. 1 Properties and Selection Iron Steels and High Performance Alloy*. USA: ASM International.
- Aisyah. 2011. *Perubahan Struktur Mikro dan Sifat Mekanik Pada Pengelasan Drum Baja Karbon Wadah Limbah Radioaktif*. Yogyakarta: Pusat Penelitian Limbah Radioaktif BATAN.
- Anwar, Khairil. 2011. *Analisis Perpindahan Panas Grate Cooler Industri Semen*. Palu: Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Tadulako.
- Avner, Sidney H. 1974. *Introduction To Physical Metallurgy*. Singapore: McGraw-Hill Book Co.
- Bayu Adie Septianto, dan Yuli Setiyorini. 2013. *Pengaruh Media Pendingin pada Heat Treatment Terhadap Struktur Mikro dan Sifat Mekanik Friction Wedge AISI 1340*. Surabaya: Jurusan Teknik Material dan Metalurgi, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Brooks, Charlie and Choudhury, Ashok. 2002. *Failure Analysis of Engineering Materials*. New York: McGraw-Hill.
- Callister, William. 2007. *Material Science and Engineering An Introduction*. New York: John Wiley & Sons, Inc.
- Campbell, F.C. 2008. *Elements of Metallurgy and Engineering Alloys*. New York: ASM International.


- Chandler, Harry. 1995. *Heat Treater's Guide: Practices and Procedures for Irons and Steels*. USA: ASM International.
- Dieter, George E. 1987. *Metalurgi Mekanik*. Jakarta: Erlangga.
- Donald S Clark, Varney R Wilbur. 1962. *Physical Metallurgy for Engineers*. California: Litton Educational Publishing Inc.
- Edahwati, Luluk. 2009. *Alat Industri Kimia*. Surabaya: UPN Press.
- Firdaus, Apriyadi. 2007. *Proses Pembuatan Semen Pada PT. Holcim Indonesia Tbk*. Banten: Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Sultan Ageng Tirtayasa.
- FLSmidth. 2016. *about us : FLSmidth*. Oktober 3. <http://www.flsmidth.com/en-US/Industries/Categories/Products/Pyroprocessing/FLSmidth+Cross-Bar+Cooler/FLSmidth+Cross-Bar+Cooler>.
- Handoyo, Yopi. 2013. *Perancangan Alat Uji Impak Metode Charpy Kapasitas 100 Joule*. Bekasi: Program Studi Teknik Mesin Universitas Islam 45 Bekasi.
- Ihsan Gata Bangsawan, Suharno S.T, dan Budi Harjanto S.T., M.Eng. 2011. *Pengaruh Variasi Temperatur dan Holding Time dengan Media Quenching Oli Mesran SAE 40 terhadap Struktur Mikro dan Kekerasan Baja ASSAB 760*. Surakarta: Prodi Pendidikan Teknik Mesin, Jurusan Pendidikan Teknik dan Kejuruan, FKIP, UNS.
- LI Hong-ying, LI Jun HU Ji-dong, Guang Chen, Xiong-jie Sun. 2013. *Effect of tempering Temperature on Microstructure and Mechanical Properties of AISI 6150 Steel*. Journal Central South University.

- Majanasastra, R. Bagus Suryasa. 2013. *Analisis Simulasi Uji Impak Baja Karbon Sedang (AISI 1045) dan Baja Karbon Tinggi (AISI D2) Hasil Perlakuan Panas*. Bekasi: Universitas Islam 45 Bekasi.
- Michael J. Schneider, The Timken Company, and Madhu S. Catterjee, Bodycote. 2013. *Introduction to Surface Hardening of Steels*. USA: ASM International.
- Murtiono, Arief. 2012. *Pengaruh Quenching dan Tempering Terhadap Kekerasan dan Kekuatan Tarik Serta Struktur Mikro Baja Karbon Sedang Untuk Mata Pisau Pemanen Sawit*. Sumatera: Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Sumatera Utara.
- Nishida, Shin-ichi. 1992. *Failure Analysis in Engineering Application*. Oxford: Butterworth-Heinemann.
- Nukman. 2009. *Ketangguhan Beban Impak dan Beban Tarik Maksimum Pada Pelat Baja Berlapis Akibat Quenching and Normalizing*. Palembang: Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya.
- Rina Dwi Yani, Tri Pratomo, Hendro Cahyono. 2008. *Pengaruh Perlakuan Panas Terhadap Struktur Mikro Logam ST 60*. Pontianak: Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Pontianak.
- Rochman Rochiem, Hariyati Purwaningsih, Edwin Setiawan. 2009. *Pengaruh Proses Perlakuan Panas Terhadap Kekerasan dan Struktur Mikro Baja AISI 310 S*. Surabaya: Jurusan Teknik Material dan Metalurgi, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Saito, Tata Surdia & Shinroku. 1975. *Pengetahuan Bahan Teknik*. Jakarta: Pradnya Paramita.
- Subardi, Ratna Kartikasari, Achmad Supiani. 2011. *Pengaruh Viskositas Media Celup Terhadap*


- Kekerasan dan Struktur Mikro Martensitic White Cast Iron ASTM A532*. Yogyakarta: Jurusan Teknik Mesin STTNAS Yogyakarta.
- Suherman, Susri Mizhar dan. 2011. *Pengaruh Perbedaan Kondisi Tempering Terhadap Struktur Mikro dan Kekerasan dari Baja AISI 4140*. Medan: Teknik Mesin Politeknik Tanjung Balai.
- Warmick, Seco. 2011. *Heat Treating Data Book Tenth Edition*. USA: SECO/Warmick Corporation.
- Yogantoro, Anom. 2010. *Penelitian Pengaruh Variasi Temperatur Pemanasan Low Tempering, Medium Tempering dan High Tempering pada Medium Carbon Steel Produksi Pengecoran Batur-Klaten Terhadap Struktur Mikro, Kekerasan dan Ketangguhan (Toughness)*. Surakarta: Universitas Muhammadiyah Surakarta.

LAMPIRAN

A. Technical Data Hammer Crusher

| | | | |
|---|--|---|---|
|  | | <u>TECHNICAL DATA OF HAMMER CRUSHER</u> | |
| COUNTRY : | INDONESIA | DATE : | 12.04.2016 |
| CUSTOMER | | | |
| Company: | SEMEN INDONESIA (Persero) | Works: | |
| Contact Person: | gusni.mr@semen.co.id | Annual Capacity: | 3,000,000 T |
| CRUSHER | | | |
| Manufacturer | PT.HANSA PRATAMA | Serial No.: | |
| Type: | <input checked="" type="checkbox"/> Monorotor <input type="checkbox"/> Birotor | | |
| Crushing stage: | <input type="checkbox"/> Primary <input type="checkbox"/> Secondary <input checked="" type="checkbox"/> Clinker <input type="checkbox"/> Other | | |
| Year of construction: | 2015 | | |
| Quantity of hammers per set | 63 | | |
| External rotor diameter: D= | 1,000.0 m | | |
| Rotation speed N= | 370 rpm | | |
| Linear speed: $(\pi \times D \times N) / 60 =$ | 19,360.0 m/s | | |
| Are the hammers free to turn around their shaft (360°) : | | <input checked="" type="checkbox"/> Yes <input type="checkbox"/> No | |
| Height of material fall: H= | | m | |
| Nb of hammer rings per rotor: | 12 | | |
| Nb of hammers per ring: | 6 | | |
| MATERIAL TO BE CRUSHED | | | |
| <input type="checkbox"/> Limestone <input type="checkbox"/> Shale <input type="checkbox"/> Clay <input type="checkbox"/> Lime | | | |
| <input type="checkbox"/> Lignite <input type="checkbox"/> Coal <input type="checkbox"/> Other | | | |
| <input checked="" type="checkbox"/> Clinker > average temperature of clinker at outlet of cooler | 400 °C | | |
| Red river on the cooler | <input type="checkbox"/> Never <input checked="" type="checkbox"/> Sometimes | Frequency | |
| Maximum size at inlet (mm): | Max. at outlet (mm) | Output/hour | 354 t/hr |
| Running time of the crusher | 24 hr/day | Days/week | 7 |
| Crushed material composition: | % combined silica: | % free silica: | |
| Metal pieces coming inside the crusher: | <input type="checkbox"/> Never <input checked="" type="checkbox"/> Sometimes | Frequency | |
| HAMMER | | | |
| Unit weight at the new set kg | Present alloy (t) | Hardness: | |
| Lifetime : hr | 14,400 | Lifetime (month) | 24 |
| | Gross wear (gr/T): | Lifetime (crushed tonnage/set) : | |
| Turning of hammers: | <input type="checkbox"/> yes <input type="checkbox"/> no | Hardfacing of hammers: | <input checked="" type="checkbox"/> yes <input type="checkbox"/> no |
| | | | How many times? |
| Current supplier: | PT.HANSA PRATAMA | Unit price : | |
| Machining of the boring: | <input type="checkbox"/> yes <input type="checkbox"/> no | | |
| Machining of the flanges: | <input type="checkbox"/> yes <input type="checkbox"/> no | | |
| Particular problems encountered and comments: | | | |
| - clogging up with sticky material <input checked="" type="checkbox"/> | | | |
| - irregular wear according to the position on the rotor : | | | |
| No <input type="checkbox"/> | | if yes: <input checked="" type="checkbox"/> | Quick wear on the center |
| - breakage on the hammer shaft <input type="checkbox"/> | | | |
| - breakage on the hammer head <input checked="" type="checkbox"/> | | | |
| - oval shape of hammer hole <input checked="" type="checkbox"/> | | | |
| - others <input checked="" type="checkbox"/> hammer disc width decrease (wear indication) | | | |
| - Handling system of the hammer (to be specified): | | | |

B. Analisis OES (*Optical Emission Spectroscopy*) Komposisi Kimia



**Kementerian
Perindustrian**
REPUBLIK INDONESIA

**BADAN PENELITIAN DAN PENGEMBANGAN INDUSTRI
BALAI RISET DAN STANDARDISASI INDUSTRI SURABAYA
LABORATORIUM PENGUJIAN DAN KALIBRASI
BARISTAND INDUSTRI SURABAYA**


Jl. Jagir Wonokromo No. 360 Surabaya (60244), Telp. (031) 8410054, Fax. (031) 8410480
<http://baristandsurabaya.kemenperin.go.id/>

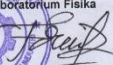
Nomor Analisa : P 5576 s/d P 5578
 Jenis Sampel : Besi Tuang
 Kode : A, B, C

| No | Parameter Uji Komposisi Kimia Logam | Satuan | Hasil Uji | | | Methoda uji |
|----|--|--------|---------------|---------------|---------------|---|
| | | | P 5576 (A) | P 5577 (B) | P 5578 (C) | |
| 1 | Si | % | 0,37379 | 2,4849 | 0,61983 | JIS G 1253 : 2002 Cara uji komposisi kimia |
| 2 | Mn | % | 0,77582 | 0,93132 | 2,0322 | |
| 3 | P | % | 0,01986 | 0,06462 | 0,05978 | |
| 4 | S | % | 0,00606 | 0,02336 | 0,01116 | |
| 5 | Cu | % | 0,03701 | 0,56583 | 0,15006 | |
| 6 | Ni | % | 0,39966 | 3,5939 | 7,6548 | |
| 7 | Cr | % | 1,9148 | 16,344 | 13,387 | |
| 8 | Mo | % | 0,22922 | 0,33403 | 0,22436 | |
| 9 | Al | % | 0,05568 | 0,10638 | 0,01166 | |
| 10 | Carbon | % | 0,59650 | 1,1742 | 0,02916 | |

Catatan :

- Sampel diuji sesuai permintaan.
- Sampel diuji dengan alat Optical Emission Spectrometer



Surabaya, 03 Oktober 2016
 Laboratorium Fisika

 Fany Aditama
 NIP. 197801102002121005

Halaman 2 dari 2
 Page 2 of 2

Perhatian :

C. Standar AISI 8655

MATERIAL TECHNICAL DATA SHEET - AISI/SAE 8655

MATERIAL CATEGORY: SAE, AISI, UNS system alloy structural steel

MATERIAL SPECIFICATIONS: SAE J1249 -2000

OFFICIAL TEST CERTIFICATE: issued by **TUV** - **SGS** - **BV**

CHEMICAL COMPOSITION (WEIGHT %)

C (%): 0.51~0.59

Si (%): 0.15~0.35

Mn (%): 0.75~1.00

P (%)≤: 0.035

S (%)≤: 0.040

Cr (%): 0.40~0.60

Ni (%): 0.40~0.70

Mo (%): 0.15~0.25

MECHANICAL PROPERTIES AND HOT WORKING

Mechanical property $\geq \sigma_b$ /MPa: -

Mechanical property $\geq \sigma_s$ /MPa: -

Mechanical property $\geq \delta_5$ (%): -

Mechanical property $\geq \psi$ (%): -

Hardness /annealed COND: 187 ~ 248

Hot working temperature /°C: 1100~850

| | | |
|------------------|-----------------|-----|
| Young's modulus | 200000 - 200000 | MPa |
| Tensile strength | 650 - 880 | MPa |
| Elongation | 8 - 25 | % |
| Fatigue | 275 - 275 | MPa |
| Yield strength | 350 - 550 | MPa |

Physical Properties

| Quantity | Value | Unit |
|----------------------|-------------|------------------------|
| Thermal expansion | 10 - 10 | e-6/K |
| Thermal conductivity | 25 - 25 | W/m.K |
| Specific heat | 460 - 460 | J/kg.K |
| Melting temperature | 1450 - 1510 | °C |
| Density | 7700 - 7700 | kg/m ³ |
| Resistivity | 0.55 - 0.55 | Ohm.mm ² /m |

Heat Treatment:

| Annealing | Quenching | Tempering | Normalizing | Q & T |
|-----------|-----------|-----------|-------------|-------|
| √ | √ | √ | √ | √ |

D. Standar ASTM A532 (komposisi dan kekerasan)

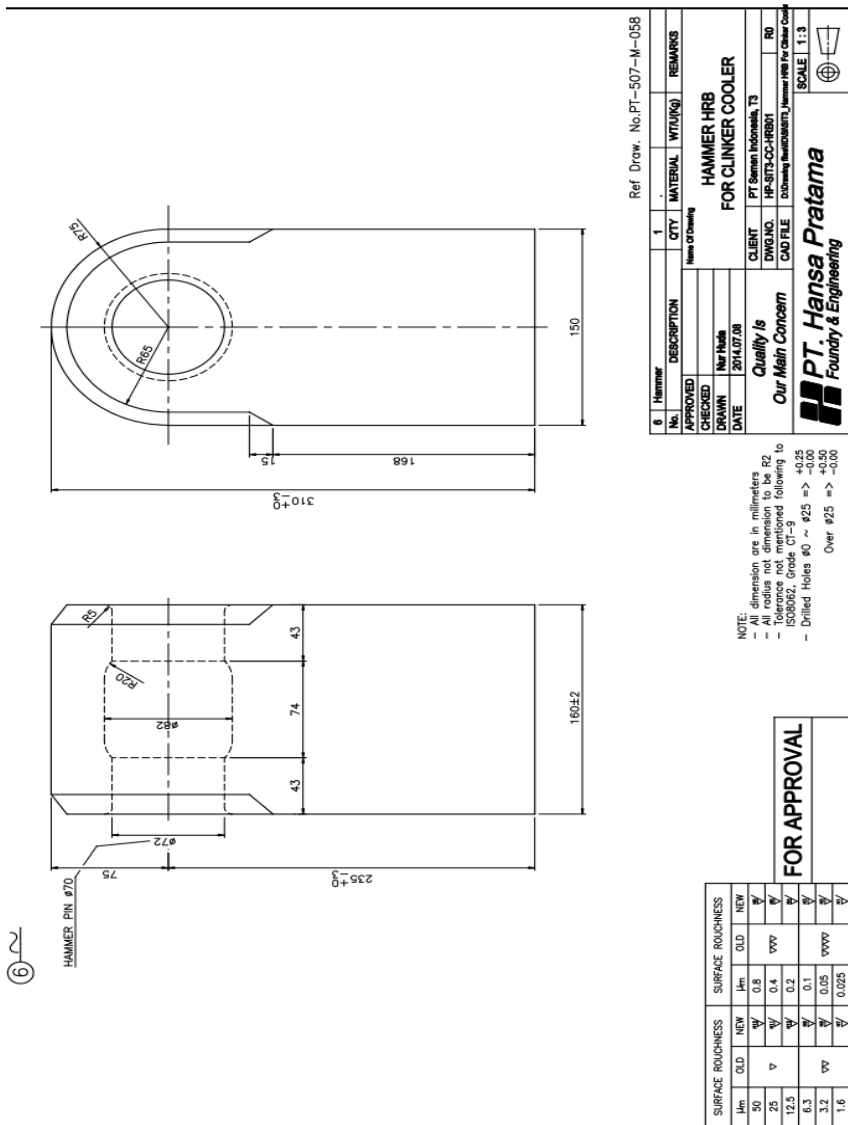
TABLE 1 Chemical Requirements, Weight %

| Class | Type | Designation | Carbon | Manganese | Silicon | Nickel | Chromium | Molybdenum | Copper | Phosphorus | Sulfur |
|-------|------|-------------|---------|-----------|---------|---------|-----------|------------|---------|------------|----------|
| I | A | Ni-Cr-Hc | 2.8-3.6 | 2.0 max | 0.8 max | 3.3-5.0 | 1.4-4.0 | 1.0 max | ... | 0.3 max | 0.15 max |
| I | B | Ni-Cr-Lc | 2.4-3.0 | 2.0 max | 0.8 max | 3.3-5.0 | 1.4-4.0 | 1.0 max | ... | 0.3 max | 0.15 max |
| I | C | Ni-Cr-GB | 2.5-3.7 | 2.0 max | 0.8 max | 4.0 max | 1.0-2.5 | 1.0 max | ... | 0.3 max | 0.15 max |
| I | D | Ni-HCr | 2.5-3.6 | 2.0 max | 2.0 max | 4.5-7.0 | 7.0-11.0 | 1.5 max | ... | 0.10 max | 0.15 max |
| II | A | 12 % Cr | 2.0-3.3 | 2.0 max | 1.5 max | 2.5 max | 11.0-14.0 | 3.0 max | 1.2 max | 0.10 max | 0.06 max |
| II | B | 15 % Cr-Mo | 2.0-3.3 | 2.0 max | 1.5 max | 2.5 max | 14.0-18.0 | 3.0 max | 1.2 max | 0.10 max | 0.06 max |
| II | D | 20 % Cr-Mo | 2.0-3.3 | 2.0 max | 1.0-2.2 | 2.5 max | 18.0-23.0 | 3.0 max | 1.2 max | 0.10 max | 0.06 max |
| III | A | 25 % Cr | 2.0-3.3 | 2.0 max | 1.5 max | 2.5 max | 23.0-30.0 | 3.0 max | 1.2 max | 0.10 max | 0.06 max |

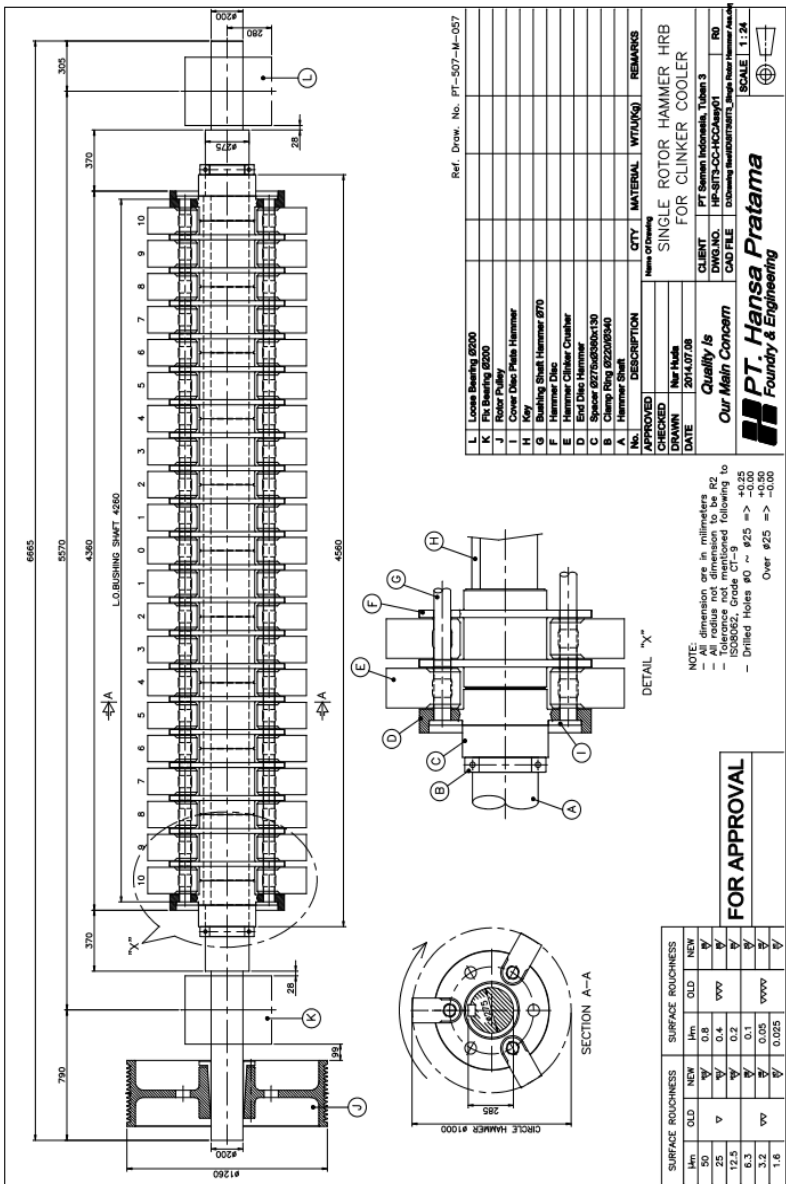
TABLE 2 Hardness Requirements

| Class | Type | Designation | Hardness Value-HB | | | | | | | | | | | | | | Typical Section Thickness | | |
|-------|------|-------------|---|-----|-----|-----|-----------------------------|-----|-----|-----|--|-----|-----|-----|------------------------------|-----|---------------------------------|---------------|-----|
| | | | As Cast or As Cast and Stress Relieved | | | | Sand Cast, min ^A | | | | Hardened or Hardened and Stress Relieved | | | | Chill Cast, min ^B | | | Softened, max | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | HB | HRC | HV | HB | HRC | HB | HV | HB | HRC | HB | HV | HB | HRC | HB | | HV | HB |
| I | A | Ni-Cr-HC | 550 | 53 | 600 | 56 | 660 | 650 | 59 | 715 | 600 | 56 | 660 | ... | ... | ... | ... | ... | |
| I | B | Ni-Cr-LcC | 550 | 53 | 600 | 56 | 660 | 650 | 59 | 715 | 600 | 56 | 660 | ... | ... | ... | ... | ... | |
| I | C | Ni-Cr-GB | 550 | 53 | 600 | 56 | 660 | 650 | 59 | 715 | 600 | 56 | 660 | 400 | 41 | 430 | ... | ... | |
| I | D | Ni-HCr | 600 | 50 | 540 | 600 | 56 | 660 | 650 | 59 | 715 | 550 | 53 | 600 | ... | ... | ... | ... | |
| II | A | 12 % Cr | 550 | 53 | 600 | 56 | 660 | 650 | 59 | 715 | 550 | 53 | 600 | 400 | 41 | 430 | ... | ... | |
| II | B | 15 % Cr-Mo | 450 | 46 | 465 | 600 | 56 | 660 | 650 | 59 | 715 | ... | ... | ... | ... | 400 | 41 | 430 | ... |
| II | D | 20 % Cr-Mo | 450 | 46 | 465 | 600 | 56 | 660 | 650 | 59 | 715 | ... | ... | ... | ... | 400 | 41 | 430 | ... |
| III | A | 25 % Cr | 450 | 46 | 465 | 600 | 56 | 660 | 650 | 59 | 715 | ... | ... | ... | ... | 400 | 41 | 430 | ... |

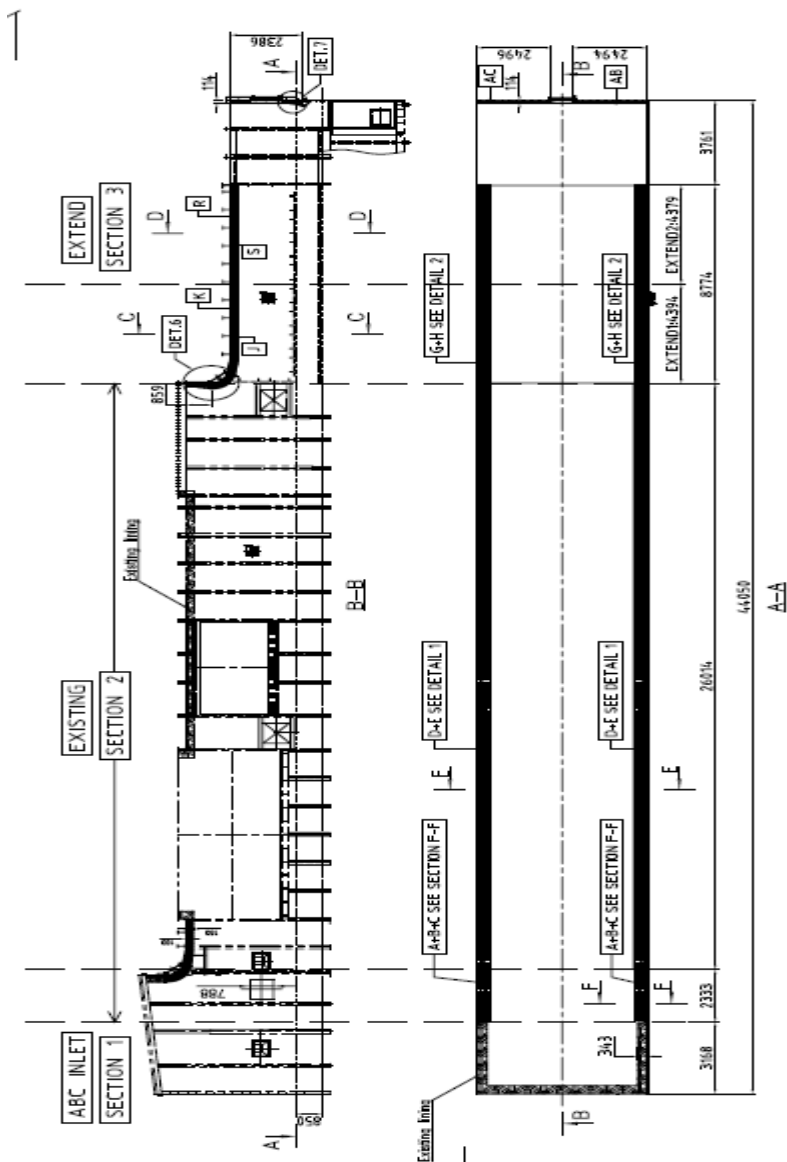
1. Desain Hammer Crusher



2. Single Rotor Assembly



3. Clinker Cooler



F. Nilai Kekerasan spesimen Uji Baja AISI 8655 setelah di *Hardening*

| Nama Spesimen | Titik Indentasi | | | | | Rata-rata | Standar Deviasi |
|--------------------------|-----------------|-----|-----|-----|-----|-----------|-----------------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | | |
| AISI 8655 | 240 | 245 | 250 | 248 | 232 | 243 | 7.2111 |
| AISI 8655 HT60-AQ | 489 | 516 | 470 | 0 | 0 | 491.7 | 23.1157 |
| AISI 8655 HT60-OQ | 502 | 505 | 548 | 0 | 0 | 518.3 | 25.7358 |
| AISI 8655 HT60-WQ | 556 | 533 | 556 | 0 | 0 | 548.3 | 13.2791 |
| AISI 8655 HT30-AQ | 526 | 509 | 526 | 0 | 0 | 520.3 | 9.81495 |
| AISI 8655 HT30-OQ | 533 | 533 | 556 | 0 | 0 | 540.7 | 13.2791 |
| AISI 8655 HT30-WQ | 564 | 552 | 541 | 0 | 0 | 552.3 | 11.5036 |

UCAPAN TERIMA KASIH

Pada pengerjaan tugas akhir ini penulis banyak mendapat bantuan dari berbagai pihak, pada kesempatan ini penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada:

1. Allah SWT karena dengan rahmat dan kuasa-Nya penulis dapat menyelesaikan laporan Tugas Akhir ini dengan baik dan tepat waktu.
2. Ayah, Ibu, dan Kakak. Bapak Enang Rusmanto, Ibu Dewi Utari, Citra Anesia Anggun Kinanti, Angga Febrinuryanto serta seluruh keluarga yang telah memberikan banyak doa, dukungan, semangat, cinta kasih, motivasi, dan inspirasi.
3. Ir. Rochman Rochiem M.Sc dan Alvian Toto Wibisono ST., MT. selaku dosen pembimbing Tugas Akhir penulis yang telah membimbing dan memberikan banyak ilmu selama pengerjaan tugas akhir ini.
4. Pak Didiet dan pak Ginanjar selaku pembimbing dari PT. Semen Indonesia (Persero) Tbk yang telah membimbing dan memberikan banyak ilmu selama pengerjaan tugas akhir ini.
5. Dr. Agung Purniawan, ST., M,Eng selaku Ketua Jurusan Teknik Material dan Metalurgi FTI – ITS.
6. Dr. Eng. Hosta Ardhyanta ST., M.Sc. selaku Koordinator Tugas Akhir Jurusan Teknik Material dan Metalurgi FTI-ITS.
7. Amaliya Rasyida ST., M.Sc. selaku dosen wali yang sangat mengayomi selama penulis menjalani pendidikan di Jurusan Teknik Material dan Metalurgi.
8. Seluruh dosen dan karyawan Jurusan Teknik Material dan Metalurgi FTI-ITS yang telah membimbing penulis hingga terciptanya laporan ini.
9. Sahabat terbaik penulis yaitu Para Sayap yang beranggotakan Gentong, Aul, Dio, Dony, Gale, Daru, Ridho, Kemplo, Panji, Didit, Reggy, Ikiw, Gentong dan Andika yang telah

memberikan semangat dan energi positif selama penulis menjadi mahasiswa di JTMM FTI-ITS.

10. Sahabat terbaik penulis, Made, Puas, Laras, Almira, Yovan, Dinyo, Nova, Jeffry, dan Naufal yang merupakan sahabat SMA penulis yang selalu menghibur dan tetap menjalin silaturahmi sampai sekarang.
11. Gale, teman satu tim tugas akhir di PT. Semen Indonesia (Persero) Tbk yang telah memberikan bantuan, semangat, dan cerita selama pengerjaan tugas akhir ini.
12. Leddy, Anggun, Ipul sebagai tim BEM FTI-ITS yang super hebat dan selalu memberikan semangat serta tempat untuk berbagi suka dan duka.
13. Made putri larasati yang selalu memberikan kesan baik dan semangat positif kepada penulis.
14. Teman-teman seperjuangan MT15 yang memberikan banyak cerita dalam kehidupan penulis.
15. Dan Seluruh pihak yang telah memberikan partisipasi dalam Tugas Akhir ini.
16. Serta seluruh pihak yang belum bisa dituliskan satu per satu oleh penulis. Terimakasih atas dukungan dan bantuan teman-teman sekalian.

(Halaman Ini Sengaja Dikosongkan)

BIODATA PENULIS



Penulis dilahirkan di Surabaya, 26 Januari 1996, merupakan anak kedua dari 2 bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan formal di TK Kemala Bhayangkari, SDN Jepara 1/90 Surabaya, kemudian SMP Negeri 3 Surabaya dan SMA Negeri 1 Surabaya. Setelah lulus dari SMA penulis melanjutkan studinya melalui jalur SNMPTN di Jurusan Teknik Material dan Metalurgi Institut Teknologi Sepuluh Nopember pada tahun 2013 terdaftar dengan NRP 2713100064. Di Teknik Material dan

Metalurgi penulis memilih bidang Metalurgi dan Perlakuan Panas.

Penulis sejak kuliah aktif mengikuti organisasi di BEM Fakultas dan pernah menjabat menjadi Kepala Biro Koordinasi dan Kelembagaan di BEM FTI-ITS. Berbagai pelatihan seperti LKMM Pra TD, LKMM TD, LOT I, dan LOT II pernah diikuti oleh penulis. Dalam kegiatan akademis penulis aktif sebagai Asisten laboratorium Fisika Material dan Perlakuan Panas.

Penulis memiliki pengalaman kerja praktek di PT. Timah (Persero) Tbk pada bulan Mei-Juni 2016. Selama kerja praktek penulis mendalami topik terkait “Pengaruh Unsur FE (Besi) dalam Proses Peleburan Timah Tahap II di Pabrik Peleburan dan Pemurnian Timah Unit Metalurgi PT.Timah (Persero) TBK”.

Tugas akhir yang diambil penulis dalam bidang Korosi dan Analisa Kegagalan berjudul “Analisis Pengaruh Variasi Waktu Tahan dan Media Pendingin Proses *Hardening* pada Sifat Kekerasan Baja AISI 8655 Sebagai Solusi Kegagalan pada *Hammer Crusher*”.

Email: yudhapp96@gmail.com.

(Halaman Ini Sengaja Dikosongkan)